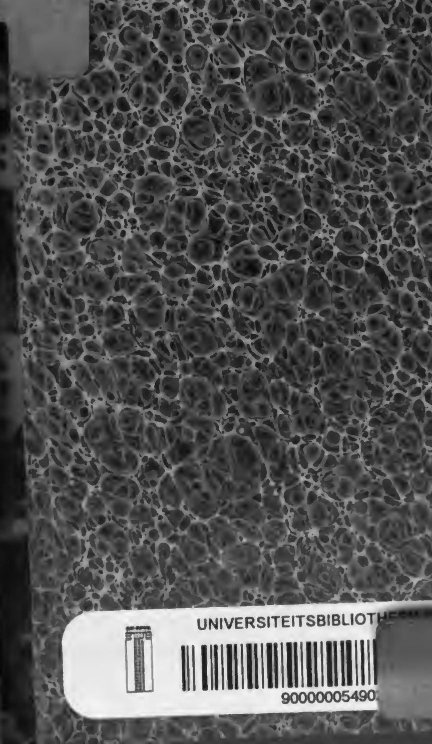
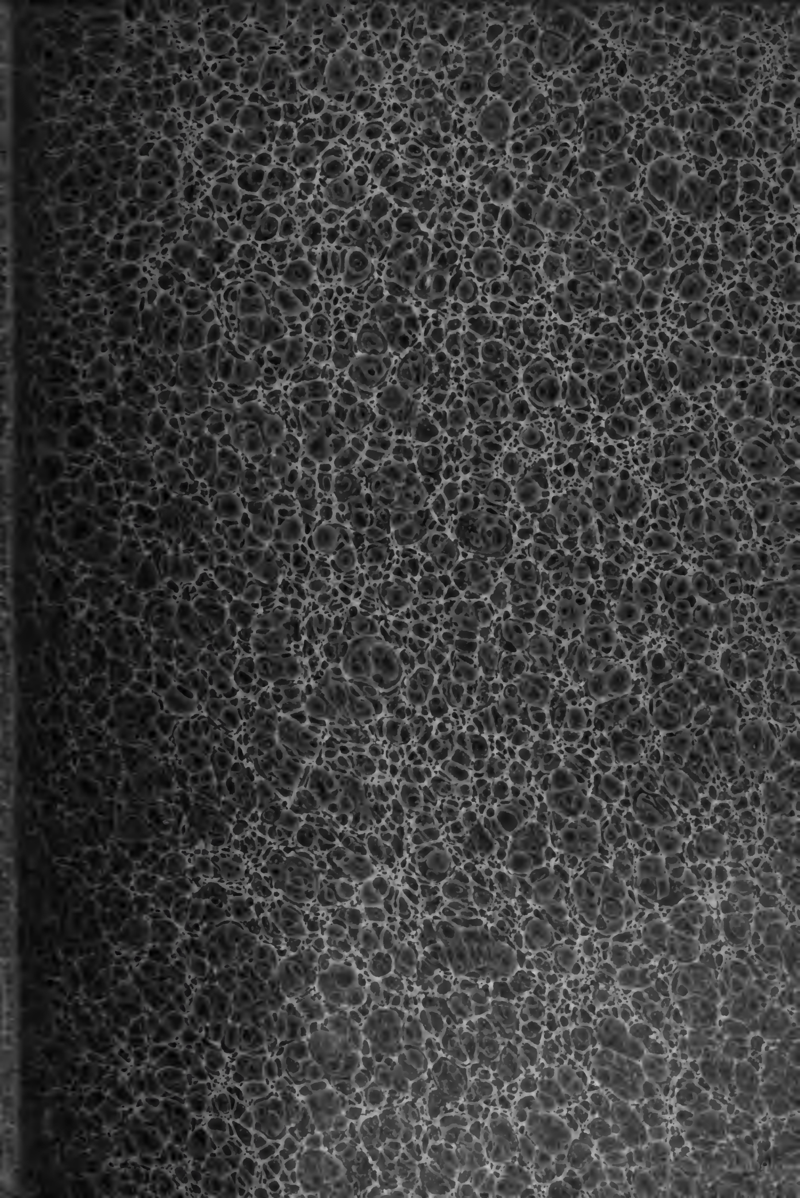






GUIDE

DU

MÉCANICIEN CONSTRUCTEUR ET CONDUCTEUR

DE MACHINES LOCOMOTIVES.

PARIS. — IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE DE PAUL DUPONT
Rue de Grenelle-Saint-Honoré, 45.

GUIDE

DU

MÉCANICIEN CONSTRUCTEUR

ET CONDUCTEUR

DE

MACHINES LOCOMOTIVES,

PAR

MM. L. LE CHATELIER, E. FLACHAT, J. PETIET et C. POLONCEAU.

TEXTE.



PARIS,
CARILIAN-GOEURY ET V^or DALMONT,
Libraires des Corps des Ponts et Chaussées et des Mines
QUAI DES AUGUSTINS, 49.
1851

INTRODUCTION.

Nous nous sommes proposé, en entreprenant ce travail, de faire un livre utile aux praticiens que la nature de leurs travaux a rendus familiers avec le maniement des *machines locomotives*, avec la construction et les réparations de leurs diverses parties, utile également aux personnes qui, par la nature de leurs occupations, sont portées à se rendre compte de tous les détails de construction et de service des moteurs appliqués au transport sur les chemins de fer.

Nous avons dû tenir compte de l'insuffisance de notions théoriques qui existera nécessairement chez la plupart de nos lecteurs ; à cet effet, nous nous sommes attachés, en premier lieu, à poser quelques principes généraux, et à en déduire, simplement et aussi clairement que possible, les conséquences, afin de mieux faire comprendre les explications que nous aurions à donner dans le cours de notre travail; pour cela nous nous sommes moins préoccupés de donner des démonstrations rigoureuses, que de rendre

facilement intelligibles les développements dans lesquels nous devions entrer, les appréciations auxquelles nous devions nous livrer dans la description des différentes parties d'une même machine, et dans la comparaison des différents modes de construction adoptés.

Nous avons donc réuni dans une première partie, sous le titre de *Notions préliminaires*, les notions de physique et de mécanique qui nous paraissaient les plus indispensables, et nous avons indiqué les principes théoriques sur lesquels repose la construction de la machine locomotive; nous avons fait connaître la fonction des éléments de cette machine, à la fois si complète et si simple.

Dans une seconde partie, nous avons décrit, pièce par pièce, les machines qui peuvent servir de types aux principaux systèmes actuellement en usage; nous avons fait connaître le jeu relatif des différentes parties du mécanisme. — La troisième partie a pour objet la description du *tender*, annexe habituel de la machine locomotive, servant à porter le coke et l'eau pour la génération de la vapeur. — Le quatrième livre comprend l'examen de la machine en mouvement, des conditions de stabilité qu'elle doit présenter, des aperçus généraux sur le choix d'un système de construction pour chaque cas particulier que peut présenter l'exploitation des chemins de fer. — Nous avons réuni dans la cinquième partie tout ce qui concerne le service des machines et leur application au remorquage des trains, les règles à suivre pour assurer la régularité du service, le bon entretien du matériel et l'économie des dépenses. — Nous avons consacré une partie notable de notre travail à traiter la question des ateliers de répara-

tion, au point de vue de leur consistance, de leur organisation intérieure et des règles à suivre pour l'entretien du matériel. — Nous avons cherché à faire connaître les résultats d'expériences, malheureusement trop peu nombreux, qui peuvent diriger les ingénieurs et les constructeurs dans l'organisation du service de traction, dans le choix des systèmes de machines, dans la recherche des perfectionnements à apporter à leur ensemble ou à leurs détails.—Dans la huitième et dernière partie, nous avons indiqué les principales causes d'accidents, les mesures à prendre pour les prévenir ou en atténuer les conséquences; à cette occasion nous avons fait connaître la législation actuellement en vigueur pour la police des chemins de fer.

Cet ouvrage, ainsi qu'on le reconnaîtra par l'exposé qui précède, est destiné à remplir le même but que *le Guide du Mécanicien conducteur de machines locomotives* que deux d'entre nous ont publié en 1840, et qui nous a servi de point de départ, autant que le permettaient les progrès accomplis depuis cette époque dans l'art de la locomotion; mais nous avons cherché à le rendre aussi complet que possible, en y ajoutant quelques parties nouvelles, en même temps que nous y avons apporté d'importantes modifications dans l'ensemble et dans les détails; c'est donc moins une seconde édition qu'un travail neuf sur la locomotion en général.

L'invention des chemins de fer et leur application au transport de certaines matières, notamment de la houille et des minerais, remonte à une époque déjà assez reculée, mais leur application au transport rapide des personnes et des marchandises de toute nature est récente. — Nous ne

nous occuperons pas de rechercher leur origine et les dates de leur application au transport ; nous chercherons seulement à donner quelques détails circonstanciés sur l'histoire de la machine locomotive, qui est l'objet exclusif de notre publication, et dans ce but nous ferons connaître, dès à présent, par quelles phases a passé cette remarquable invention avant d'arriver au point où nous la prenons pour en faire la description.

L'application de la vapeur aux moteurs fixes par Newcomen, Cawley et Savery, remonte aux premières années du 18e siècle; ce n'est guère que cinquante années plus tard que l'on songea à substituer son action aux chevaux et autres animaux de trait, pour remorquer les véhicules sur les routes ordinaires; son application à la traction sur les chemins de fer ne remonte qu'au commencement du siècle actuel.

En 1759, le docteur Robison, qui fut plus tard professeur d'histoire naturelle à l'Université de Glasgow, et qui n'était alors que simple étudiant, émit l'idée que l'on pourrait employer la machine à vapeur pour mettre en mouvement les roues des véhicules.

Le premier ingénieur qui ait cherché à réaliser cette idée, est un Français, Cugnot (Nicolas-Joseph), né en Lorraine le 25 février 1725. En 1769, il construisit à Paris un chariot mis en mouvement par une machine à vapeur composée de deux cylindres à simple effet. Dans les premiers essais, cette machine ne put parcourir, en 60 minutes, qu'un quart de lieue; de nouveaux essais entrepris en 1770 donnèrent des résultats plus favorables; cepen-

dant, l'inventeur n'ayant pas trouvé le moyen de bien diriger sa machine, on ne donna pas suite à ces expériences; elle figure encore dans la collection du Conservatoire des Arts-et-Métiers.

Dès l'année 1772, à Philadelphie, Olivier Evans s'occupait de substituer des procédés mécaniques aux chevaux pour les transports sur les routes ordinaires, et en 1786 il sollicitait, des États de Pensylvanie, un privilége pour l'application de la vapeur aux moulins et aux véhicules; en 1804 il construisit la première voiture à vapeur qu'aient vue les Etats-Unis et la fit fonctionner dans les rues de Philadelphie.

En 1784, Watt prenait une patente en Angleterre pour l'application de la machine à vapeur aux voitures ordinaires.

En 1802, Trévitick et Vivian, en Angleterre, émirent la même idée, et deux ans plus tard, en 1804, ils l'appliquèrent à la construction d'une machine qu'ils firent circuler sur le chemin de fer de Merthyr-Tydvil, rebutés qu'ils furent par les difficultés de toute nature que présentait son emploi sur les routes ordinaires.

La machine de Trévitick et Vivian n'avait qu'un seul cylindre placé horizontalement; le piston transmettait son mouvement aux roues au moyen d'une bielle et de deux engrenages; le cylindre avait 0^{m} 203 de diamètre et 1^{m} 37 de course. Avec cette machine ils purent remorquer un train de 10 tonnes, sur une longueur de 14 kilomètres et demi, et à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure, sans renouveler l'eau contenue dans la chaudière. L'opinion dominante alors était que l'on rencontrerait des difficultés

insurmontables dans le défaut d'adhérence des roues sur la surface polie des rails, et cette opinion fut le principal obstacle à toute application ultérieure de cette machine; les inventeurs eux-mêmes conseillaient de pratiquer sur la jante des roues des rainures transversales, des aspérités, de manière à leur donner plus de prise sur les rails; ils allaient même jusqu'à proposer l'emploi de chevilles ou de griffes prenant leur point de résistance sur le sol. — Ces premiers essais ne donnèrent pas lieu à une application suivie de la vapeur au transport sur les chemins de fer, qui commençaient à se développer dès cette époque en Angleterre pour le service des mines de houille.

En 1811, Blenkinsop construisit, pour le chemin de fer de Middleton à Leeds, des machines locomotives dans lesquelles les roues n'avaient plus d'autre fonction que de supporter l'appareil; un des rails portait latéralement une crémaillère, sur laquelle engrenaient les dents d'une roue mise en mouvement par deux pignons, armés chacun d'une manivelle et mis chacun en mouvement par une bielle rattachée au piston d'un cylindre vertical placé sur la chaudière. Les deux manivelles étaient placées à angle droit pour faciliter le passage des pistons au point mort. La chaudière, longue de 2^{m} 50, renfermait un tube intérieur qui servait de foyer et qui venait déboucher dans la cheminée. Ces machines ont servi, pendant plus de douze années, au transport de la houille.

En 1812, William et Edward Chapman substituèrent à la crémaillère une chaîne placée au milieu de la voie et passant sur une roue dentée, fixée à la machine et mise en mouvement par la vapeur; ils proposèrent également

l'emploi d'une machine à 8 roues, mises en mouvement par une série d'engrenages commandés par un pignon, en rapport avec un jeu de deux cylindres. Les essais entrepris sur le chemin de fer de Heaton n'eurent pas de suite.

En 1813, Brunton essaya d'employer, comme point d'appui sur le sol, un système de deux béquilles, ayant pour objet de remplir la même fonction que les jambes d'un cheval; un accident arrivé à la chaudière qui était en fonte, l'empêcha de faire un essai suivi.

A la même époque. Blakett, après de nombreux essais exécutés sur le chemin de fer de Wylam, démontra que le frottement ou l'*adhérence* des roues sur les rails fournissait un point d'appui suffisant; et ce principe, combiné avec l'emploi des deux cylindres de Blenkinsop, devint la base du système de locomotion, qui a pris dans ces dernières années un développement si considérable. Cugnot avait bien employé deux cylindres dans son fardier à vapeur; mais les deux cylindres étaient à simple effet et le jeu des deux pistons était nécessairement alternatif; ils se trouvaient tous les deux à la fois à l'une des extrémités de leur course, tandis que, dans la machine de Blenkinsop, les deux manivelles étant calées sur un même axe, l'un des pistons était au milieu de sa course lorsque l'autre était à l'extrémité. Cette disposition assurait la mise en marche et la continuité du mouvement dans les petites vitesses. Ajoutons toutefois que le principe mécanique des manivelles croisées était déjà bien connu à cette époque.

George Stephenson construisit, pour la mine de houille de Killingworth, pendant l'année 1814, une machine à

quatre roues, accouplées au moyen d'une chaîne sans fin enroulée sur deux roues dentées portées par le milieu de chaque essieu ; un cylindre était placé verticalement, sur la chaudière, au-dessus de chaque essieu, et lui communiquait le mouvement au moyen de deux bielles verticales appliquées aux extrémités d'une traverse, comme dans la machine de Trévitick et Vivian ; le jeu des deux pistons était croisé. Cette machine remorqua, sur une rampe de 0^m 002 par mètre, un poids de 30 tonnes 1/2, avec une vitesse de 6 kilomètres 1/2 à l'heure. La chaudière était cylindrique, avait 2^m 44 de long et 1^m 86 de diamètre ; elle était traversée par un tube intérieur de 0^m 51 de diamètre contenant le foyer ; les cylindres avaient 0^m 20 de diamètre et 0^m 61 de course.

En 1815, il construisit une nouvelle machine disposée sur le même principe, mais ayant, entre les deux essieux commandés directement par les cylindres, un troisième essieu lié aux deux autres par une chaîne sans fin. La machine était suspendue sur les essieux au moyen de cylindres, renfermant chacun un piston solidaire avec la boîte à graisse, et pressé sur sa surface supérieure par l'eau de la chaudière; cette disposition avait pour effet d'amortir les chocs, et de faire jouer à la vapeur le rôle de ressort. Jusqu'en 1830, ces machines conservèrent une supériorité marquée sur toutes celles qui furent construites pendant la même période de temps, grâces aux améliorations que leur apporta leur auteur. L'essieu intermédiaire fut supprimé, la chaîne sans fin fut remplacée par une bielle d'accouplement extérieure; des ressorts en acier furent appliqués pour suspendre la chaudière et le mécanisme

sur les essieux. Une pompe foulante, liée à l'une des traverses qui commandaient les bielles motrices fut disposée pour renouveler l'eau de la chaudière, en la puisant dans une caisse placée sur un chariot d'approvisionnement. Les roues avec moyeux et rais en fonte étaient cerclées en fer, les tiroirs étaient commandés par des excentriques. Ces machines ainsi perfectionnées pesaient environ 10 tonnes avec leur approvisionnement et remorquaient un train de 30 tonnes, y compris le poids des wagons, à une vitesse de 10 kilomètres à l'heure. La tendance des constructeurs dut être naturellement d'augmenter la dimension des chaudières, mais on était bien vite arrivé à la limite de poids que comportait la faible dimension des rails alors employés.

En 1825, Hacworth apporta une amélioration importante au mécanisme, en disposant les cylindres latéralement à la chaudière et en les faisant agir tous les deux sur le même essieu, et en conservant les bielles d'accouplement extérieures pour renvoyer le mouvement à l'autre essieu et faire concourir l'adhérence de ses roues à la production du mouvement.

La machine locomotive était arrivée, en 1825, à un état de progrès très-satisfaisant comparativement au point de départ, mais la puissance était limitée par la dimension des chaudières qui ne pouvaient produire qu'une assez faible quantité de vapeur ; il restait encore un pas considérable à franchir. Un ingénieur français, M. Séguin aîné, directeur du chemin de fer de Lyon à Saint-Étienne, avait fait venir à cette époque une machine locomotive d'Angleterre ; après de nombreuses observations et des expé-

riences très-suivies sur les moyens propres à augmenter la puissance de vaporisation de ces machines, et par suite leur vitesse, il imagina de remplacer le bouilleur intérieur par un grand nombre de tubes de petit diamètre et d'une faible épaisseur; il augmenta ainsi, dans une proportion considérable, la surface de contact des gaz chauds, produits par la combustion, avec l'eau qui devait être réduite en vapeur. Il ne suffisait pas d'augmenter la surface de chauffe, il fallait encore augmenter l'activité de la combustion, que le tirage naturel, dans une cheminée de dimensions forcément restreintes, laissait insuffisante; M. Séguin aîné se servit d'un ventilateur mis en mouvement par le jeu de la machine elle-même, et qu'il plaça d'abord sous le foyer, puis dans la cheminée; il prit un brevet en France, le 20 décembre 1827, pour la réalisation de ces deux idées dont il fit lui-même l'application. Ce n'est que deux années plus tard, dans le concours ouvert sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, que R. Stephenson, fils de George, fit en Angleterre l'application du principe des tubes à fumée que M. Booth, trésorier de ce chemin de fer, avait imaginé et proposé de son côté.

Le ventilateur de M. Séguin aîné était peu commode et entraînait divers inconvénients; il n'a pas hésité, à l'imitation des constructeurs anglais, à lui substituer le tuyau soufflant qui lance dans la cheminée la vapeur qui a fonctionné dans les cylindres. Cette méthode ingénieuse a contribué, tout autant peut-être que l'emploi des tubes, à porter la machine locomotive au degré de puissance et de vitesse où nous la trouvons actuellement arrivée.

Nous avons cherché à nous rendre compte de l'origine

de cette invention, que l'on trouve appliquée à plusieurs des machines qui furent présentées, le 6 octobre 1829, au concours du chemin de fer de Liverpool à Manchester, et qui paraît avoir été introduite quelques années auparavant, dans la construction des machines locomotives, par George Stephenson. Nous n'avons pas pu établir exactement la marche qu'elle a suivi en Angleterre, où elle a reçu incontestablement sa première application industrielle; nous nous bornerons donc à relater quelques faits peu connus qui ne sont pas dénués d'intérêts, au point de vue historique.

L'emploi d'un jet de vapeur, pour produire un courant d'air, a été indiqué par Vitruve, et, d'après lui, par Philibert de Lorme, qui s'exprime dans les termes suivants, au chapitre 8 du livre IX de son architecture : « *Autre remède et invention contre les fumées.* » — « Par une autre invention, il serait très-bon de prendre « une pomme de cuivre ou deux, de la grosseur de 5 à « 6 pouces de diamètre, ou plus qui voudra, et ayant « fait un petit trou par le dessus, les remplir d'eau, puis « les mettre dans la cheminée, à la hauteur de 4 ou 5 pieds « ou environ, afin qu'elles se puissent échauffer quand « la chaleur du foyer parviendra jusqu'à elles, et par l'éva-« poration de l'eau causera un tel vent qu'il n'y a si grande « fumée qui n'en soit chassée par le dessus. Ladite chose « aidera aussi à faire flamber et allumer le bois étant « au feu, ainsi que Vitruve le montre au sixième cha-« pitre de son premier livre. » (Page 270 bis de l'édition de 1597). — C'était l'Eolipyle, qui n'est, en quelque sorte, qu'un instrument de physique amusante, et qui n'a

jamais reçu sous cette forme aucune application sérieuse.

Les premières notions exactes qui aient été fournies sur cette question, sont dues à Mannoury-Dectot, qui a pris, le 14 août 1818 et le 21 août de la même année, des brevets d'invention et de perfectionnement pour divers moteurs, auxquels il appliquait les propriétés *d'entraînement*, qu'il avait constatées, dans un jet rapide d'un fluide quelconque, eau, air ou vapeur. Une de ces machines consistait dans une danaïde ou sorte de turbine dont les palettes étaient sollicitées par un courant rapide d'air déterminé par l'injection d'un jet de vapeur à haute pression dans un tube d'un diamètre plus considérable. Il décrit même, dans sa spécification, un *soufflet à vapeur*, formé d'un faisceau de tubes soudés à l'extrémité extérieure d'une buse de forge, et dans chacun desquels s'engage, d'une petite quantité, un tube effilé lançant un jet de vapeur très-rapide; les jets de vapeur déterminent un courant d'air dans chaque tube et font entrer une très-grande quantité d'air dans la buse, de telle sorte que, suivant l'auteur, « avec sept ajutages à vapeur ayant un « orifice d'une demi-ligne de diamètre, correspondant à « un même nombre de tubes de six lignes de diamètre et « un pied de longueur, on formerait un appareil qui fournirait abondamment le vent à un fourneau capable de « fondre deux mille livres de fonte de fer par heure. » La disposition des tubes dans lesquels le jet de vapeur détermine la production d'un courant est exactement celle que l'on emploie encore pour brûler, à courant d'air forcé, certains combustibles maigres et très-menus, sur les grilles des machines fixes.

Quelques personnes ont pensé que l'application du jet de vapeur au tirage dans les cheminées avait été proposée pour la première fois par Pelletan; mais le brevet de ce physicien est du 30 juin 1830, et c'est seulement à la même époque qu'il a fait réaliser cette application sur diverses machines, et notamment sur le bateau à vapeur *la Ville de Sens*, qui faisait le service de la Haute-Seine. — Il reste donc bien établi que le procédé du tirage artificiel par l'action de la vapeur a été appliqué pour la première fois en Angleterre, où il paraissait être tombé dans le domaine public, car on le trouve employé sur la *Fusée* de R. Stephenson et sur la *Sans-Pareille* de Hacworth, machines qui ont figuré dans le concours du chemin de fer de Liverpool à Manchester; Hackworth avait même établi deux jets de vapeur, l'un alternatif de la vapeur sortant des cylindres, l'autre continu, pris directement sur la chaudière. Cette application était du reste assez récente, car d'autres machines, également présentées au concours, n'en étaient pas pourvues. Ainsi que nous l'avons déjà dit, elle doit être attribuée à George Stephenson, mais nous n'avons pas pu retrouver la date précise de cette innovation.

Le concours ouvert le 29 avril 1829, par les directeurs du chemin de fer de Liverpool à Manchester, est venu hâter la réalisation pratique des nouveaux principes. Robert Stephenson, fils de George, remplit, dans le concours qui eut lieu le 9 octobre suivant, toutes les conditions du programme. La machine, montée sur 6 roues, ne devait pas peser plus de 6 tonnes; elle devait traîner, sur niveau, à la vitesse de 16 kilomètres à l'heure, un poids

de 20 tonnes, approvisionnement de la machine compris; dans le cas où la machine n'aurait pesé que 5 tonnes, le poids à remorquer était réduit à 15 tonnes. Le poids des machines devait être réduit à 4 tonnes 1/2 pour celles qui n'avaient que quatre roues.

La *Fusée*, tel était le nom de la machine que R. Stephenson faisait entrer en lice, était montée sur 4 roues et pesait 4 tonnes 1/2 ou 4,316 kilogrammes; elle remorqua, sur niveau, à la vitesse de 22 kilomètres 1/2 à l'heure, y compris son approvisionnement, un poids de 12 tonnes 15 quintaux, ou 12,942 kilogrammes, auquel avait été réduite la charge d'épreuve, à raison du poids même de la machine. La chaudière, de forme cylindrique, avait 1^{m} 83 de longueur, et comprenait une boîte à feu de 0^{m} 91 de longueur sur 0^{m} 91 de hauteur; la flamme du foyer traversait 25 tubes de 0^{m} 076 de diamètre; le tirage était activé par l'injection, dans la cheminée, de la vapeur qui avait fonctionné dans les cylindres. Cette machine comprenait la plupart des dispositions de mécanisme que l'on retrouve encore dans les machines actuelles, et qui n'ont subi que des perfectionnements, auxquels R. Stephenson, tout le premier, a pris une large part.

Ainsi qu'on le voit par l'exposé qui précède, la première idée de l'application de la machine à vapeur remonte à peine à un siècle; l'invention de la machine locomotive n'est complète que depuis une vingtaine d'années; c'est dans ce court espace de temps que la surface de l'Angleterre, des États-Unis et des principaux États de l'Europe a été sillonnée de lignes de chemins de fer, et que la circulation rapide des personnes et des choses a pris cet énorme déve-

loppement qui fera l'admiration des générations à venir.

La France peut revendiquer une part importante dans l'invention de la machine locomotive ; mais, comme dans beaucoup d'autres circonstances, l'Angleterre, pressée par les besoins d'une industrie plus active, a pris les devants pour l'application des nouveaux principes.

Nous nous sommes étendus un peu longuement sur l'historique des premiers pas faits dans la construction des machines locomotives ; nous avons pensé qu'il était utile de remettre sous les yeux de nos lecteurs des détails trop souvent oubliés, dont l'ignorance peut quelquefois faire retourner en arrière, et dont la connaissance complète ne peut que servir à hâter les perfectionnements que l'avenir nous réserve encore. Nous avons enfin voulu rendre un hommage mérité aux hommes qui ont consacré leur temps et leur fortune à la création et au développement de l'art et de l'industrie des chemins de fer. L'histoire des perfectionnements successifs qui, à partir du concours de 1829, ont amené la machine locomotive au degré de puissance et de perfection qu'elle possède actuellement, trouvera sa place plus loin ; elle suppose une connaissance complète des détails de construction, dont l'exposé est précisément l'objet de notre travail.

Les chemins de fer français étaient restés, jusqu'à l'année 1845, tributaires des ateliers anglais; l'augmentation des droits à l'importation des machines locomotives et le développement considérable qu'a pris à cette époque notre réseau, a imprimé une impulsion remarquable à nos ateliers de construction, qui jusque-là n'avaient construit

qu'un nombre assez restreint de ces machines. Malheureusement cette activité, surexcitée au delà de toute limite par la création simultanée de plusieurs grandes compagnies, n'a pas pu se soutenir sous le coup des événements politiques qui ont arrêté momentanément l'essor de notre industrie.

On compte actuellement 9 grands établissements dans lesquels la construction des machines locomotives a lieu sur une grande échelle, savoir :

A Paris......	MM. Cail, Ernest Gouin, Cavé.
A Mulhouse...	André Kœchlin, l'Expansion.
A Rouen......	Buddicom.
Au Creuzot....	Schneider.
A la Ciotat...	Benet.
A Lyon.......	Clément-Désormes.

A ces neuf établissements se rattachent d'autres grands ateliers qui se livrent spécialement à la fabrication des tenders, des chaudières, des roues et pièces de grosse forge. On peut évaluer à 250 machines locomotives la *capacité de production annuelle* de ces divers établissements, en supposant qu'ils ne cessent pas, pour s'adonner à cette construction, les travaux de nature diverse auxquels plusieurs d'entre eux se livrent spécialement.

Le tableau suivant indique le nombre des machines locomotives en service à la fin de l'année 1849, ou en construction et prêtes à livrer, sur le réseau des chemins de fer français, mis en regard du développement total du nombre de kilomètres exploités sur chaque ligne.

NOMS DES CHEMINS DE FER.	LONGUEUR exploitée.	NOMBRE DE MACHINES LOCOMOTIVES à voyageurs.	mixtes.	à marchandises.	TOTAL.
	km.				
Alais à Beaucaire et à la Grand'-Combe	88	3	3	15	21
Amiens à Boulogne	125	30	»	4	34
Andrezieux à Rouen	68	2	»	14	16
Anzin à Denain et Somain	20	5	1	2	8
Avignon à Marseille	125	16	1	10	27
Bordeaux à la Teste	52	7	1	»	8
CENTRE	207	40	»	15	55
Dieppe et Fécamp	50	»	»	»	»
Montpellier à Nîmes	52	9	»	»	
Montpellier à Cette	27	7	»	»	7
Montereau à Troyes	101	16	»	»	16
NORD	562	119	4	76	199
Orléans à Bordeaux	115	24	»	13	37
Paris à Lyon	265	45	50	30	125
Paris à Orléans	133	57	16	30	93
Paris à Rouen	131	40	»	10	50
Paris à Strasbourg	171	78	»	10	88
Paris à St-Germain / Paris à Versailles (riv. droite)	39	42	1	2	45
Paris à Sceaux	11	7	»	»	7
Paris à Versailles (riv. gauche)	17	14	»	»	14
Rouen au Havre	90	10	»	18	28
Strasbourg à Bâle / Mulhouse à Thann	161	26	»	3	29
St-Etienne à Lyon	58	2	8	32	42
Tours à Nantes	108	18	»	11	29
Versailles à Chartres	74	»	16	3	19
St-Etienne à Lyon	22	»	7	»	7
	2772	617	98	298	1,013

Le nombre total de ces machines se répartit, par provenances, de la manière suivante :

Machines françaises	850
— anglaises	163
Total	1,013

Le rapprochement des résultats qui précèdent et que nous ne chercherons pas à compléter, notre but n'étant pas de faire une étude descriptive des chemins de fer français, nous a encouragés à entreprendre le travail long et minutieux que nous offrons à nos lecteurs; il nous a semblé que, lorsqu'une industrie avait déjà pris un développement aussi considérable, il était utile de propager la connaissance des faits qui en dépendent, et d'en faciliter l'étude aux personnes qui s'y rattachent par leur profession ou par leurs travaux habituels.

Les planches qui accompagnent le texte reproduisent l'ensemble ou les pièces détachées de plusieurs machines locomotives. Nous avons cherché, par la variété des exemples, à faire saisir toutes les nuances des différents systèmes de construction, à établir des comparaisons utiles pour toutes les personnes qui ont à étudier les dispositions d'une machine à construire, ou à se rendre compte des conditions d'établissement d'une machine construite.

Ces planches pourront être, à volonté, intercalées dans le texte ou réunies en un seul cahier.

Pour simplifier la lettre écrite sur les planches, nous avons employé les abréviations suivantes :

Rouen. Machine à voyageurs du chemin de fer de Paris à Rouen et d'Orléans à Bordeaux, construite sur les plans et dans les ateliers de M. Buddicom, à Sotteville-lès-Rouen ;

Orléans. Machine à quatre roues accouplées, pour le service des marchandises, construite sur les plans de M. C. Polonceau, entrepreneur de la traction du

chemin de fer de Paris à Orléans, dans les ateliers de ce chemin de fer;

Nord. Machine à voyageurs du chemin de fer du Nord, construite d'après les plans de R. Stephenson, dans les ateliers de MM. Derosne et Cail;

Crampton. Machine à grande vitesse construite pour le chemin de fer du Nord, par M. Cail, sur les plans de M. Crampton;

Lyon (voyageurs). Machine à voyageurs du chemin de fer de Lyon, construite sur les plans de M. A. Barrault, dans les ateliers de MM. Derosne et Cail;

Lyon (mixte). Machine mixte, à cylindres extérieurs et à quatre roues accouplées, du chemin de fer de Lyon, construite sur les plans de M. A. Barrault, dans les ateliers de M. Ernest Gouin;

Lyon (marchandises). Machine à marchandises à six roues accouplées et à cylindres intérieurs, en construction pour le chemin de fer de Paris à Lyon, dans les ateliers de M. Cail, sur les plans de R. Stephenson.

Rhône. Machine mixte du chemin de fer de Paris à Lyon, construite par M. Ernest Gouin, d'après les dessins de Sharp frères.

Antée. Machine à cylindres extérieurs et à six roues accouplées, construite dans les ateliers du chemin de fer de Paris à Saint-Germain, sur les plans et sous la direction de M. E. Flachat.

Sharp et Roberts. Ancien type des machines de Sharp et Roberts, décrites par M. Félix Mathias;

Sharp frères. Machine construite en 1845, par Sharp frères.

Nous ne terminerons pas sans exprimer toute notre reconnaissance aux constructeurs et aux ingénieurs de nos principaux chemins de fer, qui ont mis, avec la plus grande obligeance, à notre disposition, les plans, documents et renseignements de toute nature que nous avons eu à consulter. Nous signalerons également les services que nous a rendus M. H. Mathieu, ancien élève de l'école Centrale, qui s'est chargé de tous les travaux préliminaires nécessaires pour préparer la rédaction du texte, et qui a dirigé, avec le plus grand soin, l'exécution des planches.

Paris, le 31 mars 1850.

GUIDE

DU

MÉCANICIEN CONSTRUCTEUR ET CONDUCTEUR

DE MACHINES LOCOMOTIVES.

LIVRE I.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

La construction des machines et leur application aux usages industriels sont basées sur l'emploi des matériaux extraits du sol et des agents naturels, dont le développement des sciences a permis d'utiliser les propriétés d'une manière chaque jour plus complète. Quelques indications succinctes et tout à fait élémentaires sont nécessaires pour faciliter, à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas familiers avec les principes de la physique, l'intelligence de notre travail. Ainsi que nous l'avons déjà dit, nous ne chercherons pas à expliquer et à démontrer les principes et les faits que nous aurons à reproduire : nous nous bornerons à donner des définitions claires et précises, et à exposer, parmi les faits que les travaux des savants ont établis d'une manière positive, ceux sur lesquels nous avons besoin de nous appuyer.

§ 1er. — Propriétés générales des Fluides élastiques.

1° Définitions. — On donne le nom de *corps solides* aux objets matériels qui ont une forme fixe et déterminée, qui ne peut être

modifiée que par une action extérieure; *les corps liquides* présentent, entre les particules qui les composent, une mobilité qui leur fait prendre spontanément la forme des vases qui les renferment, mais sans que ces particules tendent à s'éloigner les unes des autres, de telle sorte que, sous une forme quelconque, ils occupent toujours le même volume. Les *corps gazeux* ou *gaz* participent de la propriété caractéristique des liquides, par le déplacement relatif que leurs particules peuvent prendre; mais ces particules ne paraissent avoir aucune liaison; elles sont, au contraire, soumises à l'action d'une force intérieure qui tend à les écarter de plus en plus, de telle sorte que ces corps ne peuvent être conservés que dans des vases entièrement fermés; si la capacité du vase qui les renferme vient à augmenter, ils ne cessent pas pour cela de le remplir, et leur volume augmente d'une même quantité; si, par une action contraire, on tend à réduire la capacité du vase qui les contient, ils subissent une réduction semblable dans leur volume pour revenir à leur état primitif, dès que la compression a cessé. Cette dernière propriété leur a fait donner le nom de *fluides élastiques.*

En principe, tous les corps sont susceptibles de prendre, suivant les conditions dans lesquelles on les place, chacun des trois états *solide*, *liquide* et *gazeux*; — l'eau, par exemple, se présente à l'état de *glace, d'eau liquide* et de *vapeur*; on doit admettre que, s'il y a des corps que nous ne pouvons pas faire passer successivement par ces divers états, c'est à l'imperfection des moyens dont nous disposons qu'il faut l'attribuer.

On donne en général le nom de *vapeur* aux gaz qui, dans les circonstances ordinaires, se présentent à l'état *liquide* ou même *solide*, et n'affectent la forme *gazeuse* que par une modification de leur état habituel; l'exemple le plus commun est fourni par l'eau qui, par l'action du feu, se transforme en *vapeur*.

2° Compression et dilatation des gaz. — Loi de Mariotte. — Les gaz, en vertu de la propriété qui les caractérise, se *compriment* et se *dilatent*, c'est-à-dire occupent un espace plus grand

ou plus petit, suivant qu'on augmente ou qu'on diminue la capacité du vase qui les renferme. Ce changement de volume, lorsque les conditions de température ne sont pas modifiées, est soumis à une loi très-simple, qui a été constatée par les physiciens Boyle et Mariotte, et qui prend généralement le nom de ce dernier; cette loi s'énonce ainsi : *les volumes des gaz sont en raison inverse des pressions.*

Les travaux des savants de l'époque actuelle ont démontré que cette loi n'avait pas une généralité et une exactitude absolues; mais les limites d'erreur que l'on peut commettre en l'appliquant sont négligeables dans la pratique.

Un gaz n'étant retenu dans le vase qui le renferme que par la résistance des parois, exerce contre ces parois un effort qui tend à les briser; cet effort est *la tension* ou *la force élastique des gaz*. L'effet produit par le gaz sur les parois du vase, ou par la résistance de ces parois sur le gaz, est la *pression*. La tension et la pression ont une mesure commune, ou se mesurent l'une par l'autre; mais ces deux expressions ne sont pas exactement synonymes, quoiqu'habituellement on les emploie indistinctement l'une pour l'autre. Nous nous appliquerons à les distinguer dans l'application que nous aurons à en faire, pour rendre plus nets les développements que nous aurons à donner dans le cours de cet ouvrage.

La loi de Mariotte peut donc s'énoncer en disant que les volumes des gaz sont en raison inverse de leur tension ou des pressions auxquelles ils sont soumis : cela veut dire que si, par une cause quelconque, un gaz qui remplit une capacité de 2, 3, 4, 5 mètres cubes subit une réduction de volume telle qu'il n'occupe plus qu'une capacité d'un mètre cube, sa tension ou sa force élastique devient double, triple, quadruple, etc., de ce qu'elle était d'abord; en d'autres termes, qu'il est soumis à une pression, ou exerce sur les parois du vase qui le renferme une pression double, triple, quadruple, etc.

3° Mesure des pressions. — Il existe dans la pratique deux

manières distinctes d'énoncer la mesure des pressions ou des forces élastiques qui leur font équilibre : 1° en prenant pour unité la *pression atmosphérique* ou, comme on dit en langage ordinaire, *l'atmosphère ;* 2° en prenant le poids équivalent à la pression exercée sur l'unité de surface.

L'air presse de tout son poids sur la surface du sol et sur tous les objets qui s'y trouvent placés. Cette pression s'exerce sur la surface des liquides, de telle sorte que, si l'on vient à mettre un point quelconque d'un liquide en communication avec une capacité entièrement vide, le liquide sera refoulé dans cette capacité jusqu'à ce qu'il ait atteint une hauteur telle que le poids de la colonne fasse exactement équilibre au poids de la colonne d'air. C'est sur cette propriété qu'est fondée la construction des appareils employés le plus fréquemment pour mesurer les pressions.

Pour mesurer la pression atmosphérique, on met un vase contenant du mercure en communication, d'une part, avec l'atmosphère, de l'autre, avec un tube de verre dans lequel on a fait exactement le vide ; le mercure s'élève à une hauteur d'environ 0^{m} 76, qui mesure la pression exercée à la surface de la terre par l'atmosphère qui l'enveloppe ; cette pression est variable, et ses variations sont accusées par celles de la colonne de mercure. — L'instrument construit sur ce principe porte le nom de *baromètre.*

Si l'on met la surface du mercure contenu dans la cuvette du baromètre en communication avec une capacité pleine d'air et que l'on dilate cet air en augmentant son volume, la colonne de mercure diminuera de hauteur, de telle sorte que son poids fasse toujours équilibre à la force élastique du gaz dilaté.

Si l'on comprime le gaz, au contraire, la hauteur de la colonne de mercure augmentera. Les physiciens, pour énoncer les mesures de la pression, se contentent souvent d'indiquer la hauteur de la colonne de mercure à laquelle elle fait équilibre ; mais cette méthode n'est pas usuelle ; on est convenu généralement de prendre pour unité la pression habituelle de l'atmosphère ou celle qui fait équilibre à une colonne de mercure de 0^{m} 76 de hauteur, comme on est convenu d'appeler *mètre* une certaine longueur que l'on a

prise pour unité, destinée à mesurer les *longueurs*, et qui est équivalente à trois pieds anciens environ, ou plus exactement à une certaine fraction de la circonférence de la terre. En conséquence, si l'on observe qu'un gaz enfermé dans un vase tient la colonne du baromètre à $\frac{0^{m}76}{2} = 0^{m}38$, à $0^{m}76 \times 2 = 1^{m}52$, à $0^{m}76 \times 3 = 2^{m}28$, etc., de hauteur, on dira que ce gaz est soumis à une *pression*, ou qu'il a une *tension* ou *force élastique* d'une demi-*atmosphère*, de deux, de trois, etc., *atmosphères.*

Dans la pratique on n'emploie le baromètre que pour mesurer la pression atmosphérique ou des pressions inférieures; pour les pressions plus considérables, on construit un autre instrument qu'on nomme *manomètre*, et qui se compose d'un tube ouvert à la partie supérieure et en communication avec l'air; par suite, à la pression mesurée par la hauteur du mercure, il faut ajouter celle de l'atmosphère ou *une atmosphère*, pour avoir la force élastique ou la tension réelle du gaz qui presse sur la surface du mercure. Cet instrument se divise habituellement en *atmosphères* et fractions d'*atmosphères*; et pour tenir compte de la pression atmosphérique qui s'ajoute au poids de la colonne de mercure, on place ordinairement la division 1^{ath} au point où le mercure affleure, lorsque son réservoir, comme le tube, est en communication avec l'air, ou, en d'autres termes, lorsque l'appareil est au repos.

La pression, mesurée comme on l'a indiqué plus haut, est la pression totale que le gaz supporte et la mesure exacte de sa force élastique; on l'appelle *pression absolue*, par opposition avec la *pression effective*. Dans certaines machines, et notamment dans les machines locomotives, on ne peut utiliser que l'excédant de la pression de la vapeur sur la pression atmosphérique, comme on le verra plus loin. Par suite, les praticiens se sont habitués à n'avoir égard qu'à la *pression utile* ou *effective* ; celle-ci n'est donc autre chose que la pression absolue qui mesure la force élastique du gaz, diminuée d'une atmosphère ou d'une unité. Les praticiens mettent souvent la division 0^{ath} à l'origine de la colonne manométrique, au point où il convient en réalité de mettre la division 1^{ath}.

En Angleterre, on ne prend jamais en considération que la pression effective; en France, les règlements de police, qui ont dû être formulés d'une manière à la fois générale et précise, ont introduit dans les arts industriels l'usage de la pression absolue; il en est résulté souvent une confusion regrettable dans le langage mécanique; c'est pour éviter cette confusion que nous avons cru nécessaire d'entrer dans les développements qui précèdent. Nous ne parlerons, autant que possible, dans le cours de cet ouvrage, que de la pression absolue; de telle sorte que les expressions *tension*, *force élastique* et *pression*, qui pourront se présenter dans un même paragraphe, correspondent toujours à un même nombre. Le parti que nous prenons n'est pas conforme aux habitudes généralement établies dans la pratique des ateliers; mais, d'un côté, il répond aux nécessités du langage officiel, et il est l'expression de la vérité; de l'autre côté, il faudrait, pour être conséquent avec soi-même, si l'on n'avait égard qu'à la pression effective, introduire dans le langage les expressions de *tension* ou de *force élastique effective*, ce qui serait absurde, car la force d'expansion d'un gaz est une chose qui est propre et qui est absolue.

La mesure des pressions de plusieurs atmosphères exige l'emploi d'un manomètre d'une grande hauteur, qui par suite serait d'une application difficile ou impossible dans beaucoup de circonstances. On a remédié à cet inconvénient par plusieurs dispositions ingénieuses, que nous indiquerons en décrivant les manomètres employés sur les machines locomotives. En outre, on construit des *manomètres à air comprimé*, qui se composent essentiellement d'un tube fermé, rempli d'air, soudé sur la paroi du réservoir à mercure. Lorsque la pression que l'on veut mesurer s'exerce sur la surface du mercure, celui-ci est refoulé dans le tube et comprime l'air dont le volume diminue en raison inverse de la pression, conformément à la loi de Mariotte. Si le tube est exactement calibré, les volumes d'air sont proportionnels aux longueurs que prend successivement la colonne, et l'instrument peut être gradué géométriquement; mais, dans la pratique, les instruments bien construits doivent être gradués par comparaison avec un

manomètre à air libre, nom donné au manomètre ordinaire par opposition avec les manomètres à air comprimé et à tube fermé.

On fait encore usage de manomètres à ressorts métalliques de formes diverses ; nous les ferons connaître en détail dans la partie descriptive de notre travail ; nous ne faisons donc que les mentionner ici.

On mesure aussi les forces élastiques, comme nous l'avons dit plus haut, par le poids équivalent à la pression exercée sur l'unité de surface. Cette méthode est commode pour le calcul de la puissance des machines. Les Anglais expriment la pression en *livres par pouce carré*, c'est-à-dire en énonçant le poids, mesuré en livres, qui correspond à la pression exercée sur une surface d'un pouce carré. En France, cette mesure s'exprime en *kilogrammes par centimètre carré;* par une heureuse coïncidence, une pression d'une atmosphère correspond presque exactement au poids d'un kilogramme sur un centimètre carré; le rapport exact est 1, à 1,033.—Lorsqu'une tension ou une pression est exprimée en atmosphère, il suffit donc de multiplier le nombre correspondant par 1,033, pour obtenir en kilogrammes la charge déterminée par cette pression sur une surface d'un centimètre carré. Une pression d'une livre anglaise (avoir du poids) sur un pouce carré équivaut à une pression de $0^{kg}07028$ sur un centimètre carré, et par conséquent une atmosphère correspond à $14^{l}703$ par pouce carré.

§ 2. — De la chaleur.

1° Production de la chaleur. — La notion de la *chaleur* nous est donnée par la sensation que produit sur nos organes le contact ou l'approche d'un corps chaud ; la cause inconnue de cette sensation, ou l'agent qui la produit, se révèle encore par d'autres effets qui ont reçu de nombreuses applications dans les arts, tels que la *dilatation*, la *liquéfaction* ou *fusion* des corps solides, la *vaporisation* ou transformation en fluides élastiques des corps liquides. La chaleur est l'agent direct de la production de la vapeur

et, par conséquent, le point de départ de la machine à vapeur et de la machine locomotive en particulier.

La source principale de la chaleur est le phénomène de la *combustion*, réaction chimique qui a lieu, avec dégagement de chaleur, entre certaines substances végétales ou minérales et l'oxygène de l'air.

Dans les arts industriels, l'emploi des combustibles est jusqu'ici la seule source de chaleur appliquée, le seul moyen de produire la vapeur qui fait mouvoir les organes des machines.

2° Combustibles. — La nature des combustibles appliqués à la génération de la vapeur dans les machines locomotives varie suivant les circonstances locales. Dans certaines parties de l'Amérique du Nord et de l'Allemagne, on fait usage du *bois* en nature ; dans quelques circonstances exceptionnelles, et à titre d'essai seulement, on a employé la *tourbe*, combustible minéral d'origine très-récente, et qui se forme encore de nos jours par la décomposition des végétaux aquatiques dans certains lacs ou marais. — Plus généralement, on emploie la *houille*, préalablement carbonisée et transformée en *coke*; ce combustible, formé de débris de végétaux qui ont subi une décomposition complète, appartient à des terrains géologiquement assez anciens. Certaines houilles, plus sèches que d'autres, sont employées à leur état naturel dans les foyers de locomotives ; telles sont, par exemple, les *anthracites* de Pensylvanie, qui ont la propriété de s'extraire en fragments plus ou moins volumineux et de ne pas se briser en petits fragments ou décrépiter au feu ; mais généralement on est obligé de transformer les houilles en coke, soit pour éviter la fumée, soit parce qu'elles sont trop collantes et se prendraient en masses sur la grille ; soit, au contraire, parce qu'elles se réduiraient en menus fragments qui seraient également une cause d'obstruction ; soit, enfin, pour les débarrasser d'une partie du soufre qu'elles renferment. Nous ne parlerons dans le cours de notre travail que du chauffage au coke et à la houille, qui seuls présentent de l'intérêt en France.

3° Pouvoir rayonnant et conductibilité. — Les corps absor-

bent ou abandonnent de la chaleur suivant les conditions dans lesquelles ils sont placés : ce gain ou cette perte de chaleur a lieu soit par voie de dispersion ou de *rayonnement*, soit par voie de contact ; ils possèdent cette propriété à un degré plus ou moins saillant et présentent également des différences très-sensibles pour la *conductibilité*, c'est-à-dire pour la facilité avec laquelle la chaleur se transmet d'un quelconque de leurs points à un point voisin, et par suite se propage dans leur masse. Cette double propriété doit être prise en considération dans la construction des machines, dans lesquelles il importe d'empêcher la déperdition de la chaleur, déperdition à laquelle sont exposées surtout les machines locomotives. Il est nécessaire, dans ces dernières machines, d'envelopper les parties qui renferment le combustible incandescent, l'eau et la vapeur, avec les substances qui, par leur nature, sont peu favorables à la déperdition de la chaleur par rayonnement ou par contact ; ces substances devraient, s'il était possible, être à la fois peu conductrices de la chaleur et n'avoir qu'un faible pouvoir rayonnant. Les corps qui répondent le mieux à cette dernière condition sont les métaux polis et notamment le *cuivre jaune* ou *laiton* ; au contraire, ceux qui dispersent le plus facilement la chaleur sont le *noir de fumée*, les corps terminés par des surfaces non polies et noircies. Parmi les substances à travers lesquelles la chaleur se propage avec le moins de facilité, on peut citer le *charbon*, la *sciure de bois*, le *feutre*, la *brique*, le *bois*, etc. Une bonne enveloppe devrait être composée d'une couche assez épaisse de matières peu conductrices recouverte d'une feuille mince de laiton poli.

4° Dilatation. — Thermomètre. — Tous les corps, par l'application de la chaleur, ont la propriété de se *dilater* dans tous les sens ; leurs dimensions s'accroissent de quantités variables, suivant leur nature. L'expérience a démontré que, lorsque la quantité de chaleur que possède un corps s'accroît de quantités égales, les dimensions s'accroissent de quantités sensiblement égales ; toute perte de chaleur détermine inversement une *contraction*. Cette propriété a été mise à profit pour apprécier la quantité de

chaleur que possèdent les corps, soit dans leur état naturel, soit lorsqu'ils ont été soumis à l'action d'une source extérieure de chaleur.

L'appareil employé porte le nom de *thermomètre;* il se compose habituellement d'un réservoir en verre rempli de mercure et surmonté d'une tige creuse, d'un calibre intérieur très-petit. — Le réservoir du thermomètre, mis en conctact avec le corps dont on veut apprécier le degré de chaleur acquise, ou la *température*, se réchauffe ou se refroidit à son contact, et le mercure dilaté ou contracté monte ou descend dans la tige ; le point où il s'arrête, lorsque l'équilibre est établi, fait connaître la température. Pour rendre comparables les indications des thermomètres, qui sont construits sur des dimensions très-variables, on profite de la propriété qu'ont tous les corps de ne changer d'état en passant de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux, que dans des circonstances de température identiques, et par l'application de quantités de chaleur constantes ; on plonge successivement le thermomètre à graduer dans la glace fondante et dans l'eau bouillante. On marque 0° et 100° aux points où se fixe la colonne de mercure, et l'on divise l'intervalle en 100 parties égales (le tube étant régulièrement calibré sur toute sa longueur) ; chacune de ces divisions forme un *degré ;* on prolonge *l'échelle* en reportant des divisions égales au-dessus et au-dessous des points extrêmes. — Quelquefois, on divise l'intervalle des points extrêmes en 80°, et l'on a l'échelle ou le thermomètre de *Réaumur*. — Les Anglais marquent 32° au point de la glace fondante, et 212° au point de l'eau bouillante, et ils partagent l'intervalle en 180 parties égales ou degrés. Cette graduation constitue le thermomètre de *Farenheit*.

La quantité dont se dilate l'unité de longueur d'un corps, pour une augmentation de température d'un degré, a reçu le nom de *coefficient de dilatation*.

Dans les recherches scientifiques, on est obligé d'avoir égard aux variations que présente le coefficient de dilatation, qui n'est pas rigoureusement constant, suivant la partie de l'échelle thermométrique dans laquelle on opère ; mais pour les besoins de la pratique et pour l'usage que nous pourrons faire, dans le cours de cet

ouvrage, des notions qui précèdent, nous supposerons ce coefficient constant pour un même corps.

Le tableau suivant donne le coefficient de *dilatation linéaire* des principaux métaux employés dans la construction des machines locomotives :

Acier non trempé...............	0,000010791	ou 1/92700
Fer doux forgé................	0,000012205	ou 1/81900
Fer rond passé à la filière	0,000012350	ou 1/81200
Acier trempé.................	0,000012391	ou 1/80700
Cuivre rouge.................	0,000017132	ou 1/58200
Cuivre jaune ou laiton..........	0,000018782	ou 1/53300
Plomb......................	0,000028484	ou 1/35600
Le coefficient de dilatation de l'eau est de......................	0,000433	ou 1/2300
Celui du mercure est de.........	0,000180	ou 1/5505

Les gaz ont un coefficient de dilatation sensiblement constant et commun : pour l'air sec, il est, d'après les recherches de Regnault, égal à 0,003665 ou à 0,00367, suivant le mode de détermination employé; nous adopterons le nombre 0,003666, qui est exactement égal à $\frac{11}{3000}$.

Nous admettrons, à défaut de détermination plus précise, que ce coefficient s'applique à la vapeur surchauffée ou sèche qui se comporte comme un gaz.

Pour avoir la quantité totale dont un corps se dilate, lorsque la température passe d'un degré à un autre, il suffit de multiplier le nombre qui exprime la quantité de ce corps par le nombre de degrés qui mesure l'élévation de température, et le produit par le coefficient de dilatation. Par exemple, une barre de fer de 3^m de longueur, chauffée de 10° à 150°, s'allongera de $3^m \times 140 \times 0,000012205 = 0^m005$.

5° Chaleur spécifique. — Nous avons dit plus haut que la dilatation des corps était proportionnelle aux quantités de chaleur qu'ils absorbaient ; par suite, ces quantités de chaleur sont proportionnelles au nombre de degrés qui indiquent les températures.

Pour chaque degré de l'échelle thermométrique, un corps donné, en s'échauffant, absorbe une quantité de chaleur constante, ou tout au moins ne variant que de quantités négligeables pour la pratique; mais lorsqu'on passe d'un corps à l'autre, on observe des différences très-marquées. — On désigne cette propriété qu'ont les corps d'absorber ou de dégager des quantités de chaleurs différentes pour une même variation de température, par le nom de *chaleur spécifique* ou *capacité pour la chaleur*.

On ne peut pas mesurer d'une manière absolue les quantités de chaleurs totales comprises dans un corps; on peut seulement comparer les quantités de chaleurs que les différents corps absorbent pour un même effet calorifique produit. On a choisi l'eau pour terme de comparaison, et l'on désigne par 1 sa chaleur spécifique; les chaleurs spécifiques des autres corps sont proportionnelles aux quantités de chaleurs que ces corps absorbent comparativement avec un poids égal d'eau, pour passer d'une température à une autre température. Si l'on prend, par exemple, 1^{kg} d'eau à 10°, et qu'on le mélange avec de la glace à 0°, l'eau, en abandonnant sa chaleur spécifique, fera fondre une certaine quantité de glace, dont le poids pourra être déterminé. Si l'on prend ensuite différents corps à 10°, et qu'on les mette successivement en contact avec de la glace à 0°, chacun d'eux, en abandonnant sa chaleur spécifique, fera fondre une certaine quantité de glace, dont le poids sera également déterminé. Les quantités de glaces fondues sont proportionnelles aux quantités de chaleurs abandonnées par les différentes substances, et si elles sont égales, par exemple, pour les corps autres que l'eau, à 1/8, 1/9, 1/10, etc., de celles que l'eau a fondues, on dira que les chaleurs spécifiques de ces corps sont 1/8, 1/9,1/10, etc., celle de l'eau étant 1.

Le tableau suivant donne les chaleurs spécifiques des principales substances qui entrent en jeu dans une machine locomotive:

Eau...........................	1,0000
Plomb.........................	0,0293
Cuivre........................	0,1013
Fer forgé.....................	0,1218

On appelle *unité de chaleur* ou *calorie* la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un degré la température d'un kilogramme d'eau. Pour avoir le nombre de *calories* nécessaires pour élever d'un certain nombre de degrés la température d'un corps dont le poids est connu, il suffit de multiplier le poids de ce corps donné en kilogrammes par le nombre qui exprime la chaleur spécifique, et par le nombre de degrés centigrades dont sa température doit être élevée. — Par exemple, pour chauffer à 150° une masse de fer de 500kg, dont la température initiale est de 10°, il faudra un nombre de calories égal à $500 \times 0{,}8526 \times 140 = 8526$.

En appliquant la chaleur dégagée par la combustion d'un corps, à échauffer une masse d'eau connue, dont on observe les variations de température, on détermine le *pouvoir calorifique* des divers combustibles. Le tableau suivant indique le nombre de calories que peut produire un kilogramme des divers combustibles habituellement employés dans les arts, en d'autres termes le nombre de kilogrammes d'eau que la combustion d'un kilogramme de chaque substance pourrait échauffer d'un degré, si toute la chaleur dégagée était utilisée.

Tourbe ordinaire..............	1500	calories.
Tourbe de 1re qualité..........	3000	»
Bois séché à l'air..............	2945	»
» au feu.............	3666	»
Houille de 3e qualité...........	5932	»
» 2e »	6345	»
» 1re »	7050	»
Coke pur.......................	7050	»
Charbon de bois ordinaire......	6000	»
» sec ou distillé.........	7050	»

Ces nombres n'ont rien d'absolu, car ils s'appliquent à des substances de qualité très-variable ; ils peuvent cependant être appliqués à des calculs approximatifs, surtout lorsqu'il s'agit de comparer entre eux des combustibles de nature différente.

§ 3. — De la Vapeur d'eau.

1° Production de la vapeur d'eau. — La vapeur d'eau s'obtient en brûlant un combustible quelconque au contact d'un vase rempli d'eau. La masse s'échauffe graduellement jusqu'à 100° ; à partir de ce point, la température devient stationnaire, et si l'on opère dans un vase de verre, on voit se former sur les parois soumises à l'action du feu des bulles qui viennent crever à la surface. C'est là ce qui constitue le phénomène de l'*ébullition*. Pour utiliser la vapeur comme agent mécanique, on produit l'ébullition dans un vase fermé, à la partie supérieure duquel la vapeur se rassemble, et d'où on la fait échapper par un orifice dont l'ouverture se règle volonté, au moyen d'un *robinet* ou d'une *soupape*.

La vapeur d'eau se produit encore par *évaporation*, c'est-à-dire par émission spontanée à la surface du liquide, à des températures inférieures à 100°. Cela tient à ce que les liquides, sans participer à toutes les propriétés caractéristiques des fluides élastiques, ont leurs particules soumises à une certaine force répulsive qui tend à les écarter les unes des autres, mais dont l'action est faible et se trouve équilibrée par la pression que la vapeur déjà formée exerce à la surface, dès qu'elle remplit toute la partie supérieure du vase, si c'est dans le vide qu'on opère, ou dès qu'elle sature le gaz qui remplit le vase et dans lequel elle peut se dissoudre dans une certaine proportion. Il est du reste inutile d'insister sur le phénomène de l'évaporation, qui ne joue aucun rôle dans les machines à vapeur.

2° Chaleur latente. — La fixité de la température pendant l'ébullition a dû naturellement appeler l'attention des physiciens. On a reconnu qu'elle était due à l'absorption de la chaleur par la vapeur qui se forme. Cette chaleur est nécessaire pour constituer le nouvel état sous lequel l'eau se présente ; elle ne se révèle par aucune action extérieure. Toute la chaleur transmise par le combustible à la masse d'eau en ébullition est appliquée à produire le

changement d'état qui a lieu lui-même lorsque la force répulsive intérieure, s'accroissant avec la température, tend à dépasser la pression exercée à la surface par le milieu dans lequel le liquide est placé. L'ébullition a lieu à 100° au contact de l'air atmosphérique, parce que c'est à cette température que la force répulsive, qui tend à écarter les particules de l'eau, fait équilibre à la pression de l'atmosphère. Si l'ébullition se produit dans un milieu qui détermine sur la surface du liquide une pression supérieure à celle de l'atmosphère, la température de l'eau s'élève au-dessus de 100°, et c'est à un point supérieur de l'échelle thermométrique que l'ébullition se produit; à partir de ce point, toute la chaleur transmise au liquide est appliquée à produire le changement d'état et en quelque sorte incorporée aux particules du fluide élastique qui se forme. On donne à la chaleur ainsi absorbée pendant le changement d'état, par opposition avec la *chaleur sensible* qui produit l'élévation de température accusée par le thermomètre, le nom de *chaleur latente*.

On a admis pendant longtemps que la chaleur latente variait avec la température à laquelle se produisait l'ébullition, de telle sorte que la chaleur totale absorbée par l'eau à l'état de chaleur spécifique et de chaleur latente restât constante, quelles que fussent la pression et la température d'ébullition. Mais cette loi n'était que grossièrement approximative, ainsi que l'ont démontré les expériences de M. Regnault, entreprises au collége de France, par ordre de l'administration des travaux publics.

La table suivante indique, d'après ces expériences, les quantités totales de chaleur absorbées depuis la température de 0°, pour réduire en vapeur un kilogramme d'eau aux différentes températures auxquelles l'ébullition peut avoir lieu, en raison de la pression à laquelle est soumise le liquide :

Température de l'ébullition.	Chaleur totale ou nombre de calories absorbées depuis 0°.
0°................	606.5
50°................	621.7

100°................	637.0
110°................	640.0
120°................	643.1
130°................	646.1
140°................	649.2
150°................	652.2
160°................	655.3
170°................	658.2

Lorsque l'on abaisse au contraire la température de la vapeur, par exemple, en refroidissant extérieurement les parois du vase qui la renferme, il arrive un point où la force répulsive, qui décroit avec la température, ne suffit pas pour la maintenir à l'état de fluide élastique; elle se transforme en eau, en abandonnant la chaleur latente qu'elle avait absorbée. C'est là le phénomène de la *condensation*. Si la condensation a lieu dans l'atmosphère, par un temps humide, tel que la vapeur ne puisse pas se dissoudre dans l'air qui en est déjà saturé, elle se précipite sous forme de flocons blancs, comme ceux qu'on voit s'échapper de la cheminée d'une machine locomotive en marche.

La glace, en fondant, absorbe également de la chaleur latente lorsqu'elle entre en fusion, ou, inversement, l'eau en abandonne lorsqu'elle se congèle.

3° Force élastique de la vapeur d'eau. — Densité. — Lorsque la vapeur se produit dans un appareil fermé, elle reste en contact avec le liquide et remplit l'espace libre ou réservoir de vapeur. Si, par une cause quelconque, une portion de cette vapeur venait à disparaître, la partie restante tendrait à se dilater en diminuant de pression, conformément à la loi de Mariotte; mais le liquide n'étant plus soumis à l'action de la pression qui le tenait en équilibre, entrerait en ébullition, jusqu'à ce que la vapeur fût accumulée dans le réservoir en quantité assez grande pour déterminer la pression qui fait équilibre à la tension propre du liquide. Au contraire, si l'on cherchait à comprimer la vapeur, sa force élastique cesserait

de faire équilibre à la force répulsive intérieure des particules, et il y aurait condensation ; on dit, dans ce cas, que la vapeur est à *saturation*. La température de la vapeur à saturation, en contact avec le liquide qui l'a produite, est nécessairement égale à celle du liquide, car, sans cela, il y aurait ébullition ou condensation.

On s'est appliqué à établir, par des expériences très-multipliées, le rapport qui existe entre la température à laquelle a lieu l'ébullition et la pression exercée sur le liquide par la vapeur, ou, ce qui revient au même, la relation existante entre la température et la force élastique de la vapeur à saturation, afin de pouvoir déduire indistinctement l'un de ces éléments de l'autre. On ne considère habituellement que la vapeur à saturation, et lorsqu'on se sert de l'expression : *force élastique de la vapeur*, c'est de la force élastique à saturation que l'on veut parler.

Le tableau suivant, dressé par M. Regnault au moyen des résultats qu'il a obtenus dans les expériences qui ont déjà été citées, donne les forces élastiques de la vapeur d'eau de 5 en 5 degrés, à partir de 100 degrés jusqu'à 180 degrés, limites entre lesquelles sont comprises toutes les données qui peuvent être nécessaires dans la pratique, en ce qui concerne toutefois les machines locomotives. (Les pressions sont exprimées en millimètres de mercure et en atmosphères.)

TEMPÉRATURES.	FORCES ÉLASTIQUES en hauteur de mercure.	FORCES ÉLASTIQUES en atmosphères.
	mm.	atm.
100°	760.0	1.00
105°	906.4	1.19
110°	1075.4	1.41
115°	1269.4	1.67
120°	1491.3	1.96
125°	1743.9	2.29
130°	2030.3	2.67
135°	2353.7	3.09
140°	2717.6	3.57
145°	3125.6	4.11
150°	3581.2	4.71

155°...........	4088.6	....	5.38
160°...........	4651.6	....	6.12
165°...........	5274.5	....	6.94
170°...........	5961.7	....	7.85
175°...........	6717.4	....	8.84
180°...........	7546.4	....	9.93

Ces résultats sont liés entre eux par une loi continue, mais dont l'expression ne peut être donnée que par une formule compliquée. Nous renverrons les personnes qui auraient besoin de renseignements plus détaillés à ce sujet à la *relation des expériences*, etc., publiée par M. Regnault.

La connaissance des résultats qui précèdent permet d'évaluer, au moyen du thermomètre, la force élastique de la vapeur d'eau en contact avec le liquide qui la produit; il suffit pour cela de plonger dans l'eau ou dans la vapeur le réservoir du thermomètre, en l'entourant d'une enveloppe métallique qui le préserve des effets de la pression, et d'inscrire sur sa tige les pressions qui correspondent aux divers degrés de température. Cet instrument, qui a été fréquemment employé sur les machines locomotives, mais que sa fragilité rend peu commode, porte le nom de *thermomanomètre*. Le tableau qui précède donne la concordance des températures observées au moyen de cet instrument avec les pressions ou les forces élastiques de la vapeur saturée ou en contact avec le liquide qui l'a produite.

La *densité* d'un corps est le poids de l'unité de volume. Pour l'étude de la machine locomotive, il est nécessaire de connaître la densité de la vapeur aux différentes pressions auxquelles elle peut être employée. Nous donnons ces densités, en indiquant le poids d'un mètre cube pour la vapeur saturée, en concordance avec la température et avec les autres éléments qu'il peut être utile de prendre en considération. Il est à regretter que les expériences de M. Regnault, auxquelles nous empruntons la plupart des éléments de ce tableau général, n'aient pas encore donné la mesure exacte des densités de la vapeur. Nous les avons déterminées par le calcul, avec toute l'approximation que comportent les formules connues.

TABLEAU

DES TENSIONS, DE LA TEMPÉRATURE, DES VOLUMES ET DES DENSITÉS DE LA VAPEUR DE 0 A 10 ATMOSPHÈRES.

TENSION DE LA VAPEUR			TEMPÉRATURES en degrés centigrades correspondant aux différentes pressions.	VOLUMES en litres d'un kilogramme de vapeur.	POIDS en kilogram^es du mètre cube de vapeur.
en atmosphères.	en millimètres de hauteur de mercure.	en kilogrammes par centimètres carrés.			
0,25	190	0,260	65° 357	6134,97	0,163
0,50	380	0,518	81° 707	3205,13	0,312
0,75	579	0,776	92° 149	2002,64	0.454
1,00	760	1,034	100° 000	1689,19	0,592
1,25	950	1,293	106° 356	1373,21	0,728
1,50	1140	1,551	111° 739	1161,44	0,861
1,75	1330	1,809	116° 429	1007,00	0,993
2,00	1520	2,067	120° 598	891,26	1,122
2,25	1710	2,326	124° 362	799,36	1,251
2,50	1900	2,584	127° 799	726,21	1,377
2,75	2090	2,842	130° 968	665,33	1,503
3,00	2280	3,100	133° 910	614,20	1,628
3,25	2470	3,360	136° 659	570,43	1,753
3,50	2660	3,618	139° 243	533,33	1,875
3,75	2850	3,876	141° 682	505,55	1,998
4,00	3040	4,134	144° 000	471,92	2,119
4,25	3230	4,394	146° 194	446,42	2,240
4,50	3420	4,652	148° 290	423,95	2,359
4,75	3610	4,910	150° 296	403,71	2,477
5,00	3800	5,168	152° 219	384,90	2,598
5,25	3990	5,427	154° 068	368,18	2,716
5,50	4180	5,685	155° 846	352,86	2,834
5,75	4370	5,943	157° 560	339,09	2,949
6,00	4560	6,201	159° 218	326,15	3,066
6,25	4750	6,461	160° 821	313,87	3,186
6,50	4940	6,719	162° 374	303,12	3,299
6,75	5130	6,977	163° 882	293,00	3,413
7,00	5320	7,235	165° 344	283,37	3,529
7,25	5510	7,494	166° 766	273,59	3,653
7,50	5700	7,752	168° 151	263,58	3,756
7,75	5890	8,010	169° 498	258,46	3,869
8,00	6080	8,268	170° 813	251,19	3,981
9,00	6840	9,302	175° 767	225,68	4,431
10,00	7600	10,336	180° 306	205,21	4,873

§ 4. — Du Frottement.

1° Frottement des corps solides. — Lorsque deux corps solides sont en contact et qu'on veut les faire glisser l'un sur l'autre, on éprouve une certaine résistance au déplacement initial et ensuite au mouvement; cette résistance est le *frottement*, ou plus spécialement le *frottement de glissement*. Lorsqu'un corps solide de forme cylindrique, comme un rouleau, une roue, est placé sur un plan et qu'on veut le faire rouler, on éprouve encore une résistance au mouvement; c'est le *frottement de roulement*.

Les expériences des physiciens, et spécialement celles de Coulomb et de M. Arthur Morin, ont fait reconnaître que le frottement de glissement n'est pas le même pour tous les corps; que son intensité ou la force nécessaire pour le surmonter est indépendante de la vitesse du mouvement de déplacement et de l'étendue des surfaces suivant lesquelles le contact a lieu; mais qu'elle dépend seulement de la pression totale qui s'exerce au contact, et qu'elle varie proportionnellement à cette pression. Le frottement de deux corps diminue lorsqu'on donne un poli aux surfaces de contact; il diminue encore lorsqu'on interpose entre ces surfaces une matière onctueuse, comme le savon, le suif, la graisse, l'huile. Cette double propriété est d'une importance capitale dans la construction des machines locomotives, où il importe de réduire autant que possible le frottement des pièces du mécanisme. Nous ferons remarquer toutefois qu'il ne faut accepter qu'avec une certaine réserve les principes qui viennent d'être posés, lorsqu'il s'agit de pressions très-considérables, qui sont de nature à déformer les pièces, qui peuvent même rendre tout graissage impossible.

Le frottement de roulement est proportionnel à la pression exercée par la roue sur la surface de roulement, et en raison inverse du rayon de la roue. Il semblerait au premier abord que le frottement de roulement doit être nul, lorsqu'il s'agit de roues en fonte portées par des rails; mais la pression détermine toujours au point de contact une légère déformation du rail et de la roue, et

le mouvement de celle-ci a toujours lieu comme si elle devait monter sur une série de plans inclinés très-petits; de là, une résistance à vaincre.

Les tableaux suivants font connaître les principaux résultats obtenus dans les expériences qui ont eu pour objet la mesure de l'intensité du frottement; ils donnent le *coefficient du frottement*, ou le rapport de la résistance occasionnée par le frottement à la pression exercée sur la surface au point de contact. Le frottement qui a lieu au départ, lorsque les surfaces ont été quelque temps en contact, est toujours sensiblement plus considérable que lorsque les corps frottants sont en mouvement. Nous ne donnerons toutefois la valeur du coefficient que pour le dernier de ces deux cas, le premier présentant peu d'intérêt pour l'étude des machines locomotives.

FROTTEMENT DES SURFACES EN MOUVEMENT LES UNES SUR LES AUTRES.

1° Surfaces planes.

Indication des surfaces en contact.	État des surfaces.	Coefficient de frottement.
Fer sur chêne (fibres parallèles)..	sans enduit.......	0.62
— — ..	mouillées d'eau....	0.26
— — ..	frottées de savon sec	0.21
Fonte sur chêne (fibres parallèles)	sans enduit.......	0.49
— —	mouillées d'eau....	0.22
— —	frottées de savon sec	0.19
Cuivre jaune sur orme —	sans enduit.......	0.62
Fer sur orme —	—	0.25
Fonte sur orme —	—	0.20
Fer sur fer (les surfaces se rodent lorsqu'il n'y a pas d'enduit).		
Fer sur fonte et sur bronze.....	sans enduit, mais un peu onctueuses..	0.18
Fonte sur fonte et sur bronze....	sans enduit, mais un peu onctueuses..	0.15

Indication des surfaces en contact.	État des surfaces.	Coefficient de frottement.
Bronze sur bronze.............	sans enduit.......	0.20
— sur fonte.............	—	0.22
— sur fer...............	un peu onctueuses.	0.16
Bois divers et métaux glissant l'un sur l'autre ou sur eux-mêmes..................	graissées à la manière ordinaire, avec du suif, saindoux, huile, etc......	0.07 à 0.08
	légèrement onctueuses au toucher..	0.15

2° Surfaces cylindriques ou tourillons sur coussinets.

Tourillons en fonte sur coussinets en fonte.................	enduites de corps gras, à la manière ordinaire.......	0.07 à 0.08
	onctueuses	0.14
Tourillons en fonte sur coussinets en bronze................	enduites de corps gras...........	0.07 à 0.08
	onctueuses	0.16
Tourillons en fer sur coussinets en fonte.................	end^{tes} de corps gras	0.07 à 0.08
Tourillons en fer sur coussinets en bronze................	— —	0.07 à 0.08
	onctueuses et mouillées d'eau......	0.19
Tourillons en bronze sur coussinets en bronze............	end^{tes} de corps gras	0.09 à 0.10

(Lorsque le graissage a lieu d'une manière continue, le coefficient de frottement diminue jusqu'à 0,05 à 0,06.)

Ces résultats font voir l'influence marquée qu'exerce un graissage soigné sur la valeur des frottements, indépendamment de son importance pour la conservation des pièces; il semblerait en ré-

sulter, en outre, que la nature des matières en contact et des substances employées comme moyen de graissage a peu d'influence sur le frottement; cependant, on admet dans la pratique que la qualité des huiles ou des graisses exerce une influence marquée sur le frottement. Quoi qu'il en soit, on ne saurait apporter trop de soin au choix des matières employées, qui doivent être appropriées à l'application qu'on veut en faire. Pour les huiles, par exemple, une première condition à remplir, c'est qu'elles adhèrent fortement après les pièces métalliques lorsque celles-ci sont animées d'un mouvement rapide.

On manque d'expériences directes faites sur le frottement de roulement des roues en fer sur les rails en fer secs ou humides. D'après quelques expériences faites sur des matières et dans des conditions analogues, on peut admettre que le coefficient de roulement sur les chemins de fer varie de 0,002 à 0,003.

2° Adhérence. — Le frottement ne joue pas seulement un rôle important, dans la question de la locomotion, par les résistances qu'il développe dans le mouvement des pièces de mécanisme ou qu'il oppose au déplacement des véhicules, il se rattache encore à l'un des éléments essentiels de la puissance des machines locomotives, à l'*adhérence*. Lorsque deux corps sont en contact parfait, on ne peut les séparer qu'en exerçant un certain effort, qui est nécessaire pour surmonter les effets de l'attraction moléculaire sur les particules des deux corps qui sont en contact immédiat; c'est ce qui a lieu pour les mortiers qui adhèrent aux matériaux de construction, pour l'eau qui reste adhérente aux corps qu'elle mouille. C'est à cette propriété que les physiciens ont donné le nom d'*adhérence*. Si, au lieu de séparer les corps en les écartant, on veut les faire glisser l'un sur l'autre, on n'a pas seulement à vaincre l'adhérence, il faut encore vaincre le frottement, c'est-à-dire la résistance qui s'oppose au glissement.

Lorsqu'une roue repose sur un rail, sur lequel elle exerce une certaine pression, et qu'on veut la faire tourner sur place, il faut, son axe étant fixé d'une manière invariable, appliquer à sa circon-

férence ou à un point quelconque d'un de ses rayons un effort suffisant pour vaincre la résistance due à l'adhérence et au frottement. Dans la pratique, on a donné assez improprement le nom d'*adhérence* à cette résistance au glissement sur place, qui ne peut être surmontée que par un effort d'autant plus considérable que la pression de la roue sur le rail est plus considérable. L'*adhérence*, comme l'entendent les physiciens, est bien en jeu, mais pour une part très-petite. C'est en réalité le frottement qui joue le rôle important, et à proprement parler, l'*adhérence* des mécaniciens n'est autre chose que le *frottement au départ* des physiciens. On peut supposer que l'axe, au lieu d'être fixé invariablement, soit seulement retenu par une force agissant en sens contraire de la force qui sollicite la roue ou de la force motrice. Tant que la première de ces deux forces ne dépassera pas certaines limites d'intensité, elle pourra être surmontée par la seconde, et la roue, au lieu de rester immobile et de tourner sur place, suivant le rapport existant entre la force motrice et l'*adhérence*, prendra un mouvement de déplacement en roulant sur le rail. Si la première des deux forces ou la résistance dépasse au contraire certaines limites, on conçoit que la force motrice pourra devenir impuissante pour produire le mouvement en avant, et suivant le rapport qui existera entre cette force et l'adhérence, la roue tournera sur place ou restera immobile.

La notion de l'adhérence, dans les machines locomotives, paraît très-simple au premier abord; mais lorsqu'on veut s'en rendre un compte exact, les considérations dans lesquelles il faut entrer sont très-délicates. Nous ne chercherons, quant à présent, qu'à donner une définition et à faire entrevoir le rôle que joue l'adhérence dans la théorie de la machine locomotive.

3° Écoulement de l'eau et de la vapeur.— Dans les machines locomotives, l'eau, la vapeur, les gaz du foyer circulent dans des tuyaux ou à travers des orifices dont la forme et la dimension influent sur les conditions de l'écoulement. Toute résistance à l'écoulement des fluides, dans le système de la machine, nécessite l'ap-

plication d'une force correspondante qui est dépensée sans profit, et dont on doit chercher, autant que possible, à diminuer l'importance.

La résistance à l'écoulement des fluides, qui est due au frottement de ces fluides sur eux-mêmes et sur les parois des conduits, a été l'objet de nombreuses recherches entreprises par plusieurs physiciens; mais ces expériences ne se rapportent guère aux conditions de la pratique des locomotives; entreprises dans un but surtout scientifique, elles ne peuvent fournir pour l'objet qui nous intéresse que des préceptes généraux. — En effet, l'eau circule dans des tuyaux de forme très-variable et très-tourmentée, elle passe à travers des étranglements plus ou moins contournés. La vapeur ne peut pas être assimilée à un gaz, car elle est toujours plus ou moins chargée d'eau liquide, dont la présence devient une cause très-importante de résistance dans les conduites; les gaz qui traversent les tubes ont une composition et une température que l'on ne connaît pas encore exactement. Nous nous bornerons donc à quelques indications générales qui doivent rester elles-mêmes subordonnées aux nécessités et aux convenances de la construction, car il arrivera souvent que, pour rendre le montage de telle ou telle partie de la construction plus facile, on devra sacrifier une disposition de tuyaux qui, théoriquement, devrait être préférable. En outre, nous ferons remarquer que rien ne démontre, d'une manière bien positive, que les lois établies par les physiciens, dans des conditions de vitesse en général assez faibles, soient encore vraies dans les circonstances tout à fait spéciales de la circulation des fluides dans les organes des machines locomotives.

La résistance opposée par les parois de la conduite au mouvement de l'eau est proportionnelle à la longueur de la conduite, en raison inverse de son diamètre, et, lorsqu'il s'agit de grandes vitesses, proportionnelle au carré de la vitesse.

La résistance due aux parois est la principale, si la conduite est longue; mais si elle est courte, la résistance due au passage de l'eau dans des coudes ou à travers des étranglements présentant une moindre section que le tuyau et des formes irrégulières, peut

devenir très-importante. Des renflements disposés mal à propos sur le cours d'une conduite peuvent déterminer également une augmentation de résistance très-notable.

Les observations qui précèdent s'appliquent spécialement aux appareils d'alimentation, soit aux pompes et aux conduites des machines fixes qui servent à élever l'eau dans les réservoirs, soit aux appareils de distribution, soit aux pompes qui sont placées sur les machines locomotives.— On devra s'appliquer, dans la construction de ces divers appareils, à réduire autant que possible les sinuosités des tuyaux, ou au moins à éviter des coudes brusques, à maintenir partout, autant que possible, une section uniforme et égale à celle des tuyaux de conduite au passage des robinets et des clapets de retenue; enfin on devra éviter l'emploi de tuyaux d'un trop petit diamètre, et établir une juste proportion, que l'expérience seule peut indiquer, entre l'augmentation de section des conduites, au point de vue de l'amoindrissement de la résistance, et la diminution de cette même section, au point de vue de l'économie des frais de premier établissement.

L'écoulement des gaz et des vapeurs est soumis aux mêmes lois que l'écoulement des liquides ; les mêmes règles sont à observer dans la disposition des conduites. — Ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer, la présence de l'eau, entraînée à l'état liquide dans la vapeur, ne modifie pas les lois de l'écoulement, mais elle change la valeur des coefficients qui entrent dans les formules employées pour mesurer la dépense de vapeur qui doit avoir lieu par des orifices et dans des conduites de dimensions déterminées; la résistance que l'eau éprouve dans son mouvement étant beaucoup plus considérable que celle qu'éprouve un gaz ou une vapeur sèche, il en résulte que, dans la pratique, la résistance à l'écoulement de la vapeur croît très-rapidement avec la proportion d'eau entraînée.

L'influence des étranglements sur la résistance au mouvement des fluides est mise à profit dans la construction des *régulateurs*, c'est-à-dire des robinets ou appareils équivalents qui servent à régler l'écoulement de l'eau et de la vapeur dans les machines locomotives. Les pompes alimentaires, dont nous donnerons la descrip-

tion plus loin, ont des dimensions fixes et tendent à débiter à chaque coup de piston une quantité d'eau constante. Lorsque la conduite de la machine exige que l'alimentation soit moins rapide que ne le comporte la dimension des pompes, on crée une résistance additionnelle au mouvement de l'eau dans les tuyaux, en manœuvrant un robinet ou une soupape de régulation qui détermine un étranglement ou produit une résistance au mouvement de l'eau, et, par suite, une diminution dans le débit de la conduite et finalement dans le produit de la pompe. Pour régler à volonté la dépense de vapeur dans les cylindres de la machine, élément qui constitue, comme on le verra plus loin, sa puissance, on intercale dans la conduite de vapeur un robinet ou un appareil équivalent nommé *régulateur*, au moyen duquel on étrangle plus ou moins le passage; l'augmentation de résistance produit une diminution dans la dépense de vapeur.

§ 5. — Du Travail des Machines.

1° Définitions. — On donne en général le nom de *force* à la cause quelconque qui met un corps en mouvement, ou seulement qui tend à le mouvoir, lorsque son effet est suspendu ou empêché par une autre cause. La *pesanteur*, ou l'action exercée par la masse de la terre sur les corps placés à sa surface, est une des principales forces naturelles; la *force élastique* des gaz et des vapeurs, ou l'action qui tend à écarter les particules qui la composent, est également une des forces dont les applications sont le plus multipliées. — La *pression* de la vapeur est l'effet ou la manifestation de la force intérieure qui tend à lui faire occuper un volume de plus en plus grand; la *résistance* des parois du vase qui contient une vapeur ou un gaz emprisonné, en l'empêchant de se dilater, est l'effet de la *force de cohésion* qui retient les particules des corps solides agrégées et empêchent la déformation ou la rupture du vase. — La cohésion de la matière qui forme le vase fait équilibre à la force élastique de la vapeur ou du gaz, ou, en d'autres termes, la résistance du vase fait équilibre à la pression des fluides élastiques.

Lorsqu'une force appliquée à un corps n'est pas équilibrée par une force contraire, elle met ce corps en mouvement; l'effet ainsi produit est ce qu'on appelle le *travail* de la force. — On distingue le *travail moteur* et le *travail résistant* suivant que la force agit sur le corps pour produire son déplacement ou pour s'opposer à ce déplacement. — Si l'on suppose, par exemple, un vase cylindrique séparé par un diaphragme mobile en deux parties remplies chacune d'un fluide élastique, celui des deux fluides qui aura la force élastique ou la tension la plus forte se dilatera en poussant le diaphragme; l'autre fluide élastique, au contraire, se comprimera en résistant par sa tension à ce déplacement, jusqu'à ce que cette résistance soit suffisante pour faire équilibre à la pression exercée sur l'autre face du diaphragme. — La force élastique du premier fluide aura effectué un certain *travail moteur*, celle du second fluide aura effectué un certain *travail résistant*.

Pour comparer les forces, on est convenu d'adopter pour terme de comparaison l'action de la pesanteur. — On a commencé par prendre pour unité de mesure de cette force l'action exercée par la pesanteur sur un corps déterminé, pris sous un volume déterminé; on est convenu de prendre pour unité de mesure des forces en général l'action exercée par la pesanteur sur un centimètre cube d'eau distillée à 0 degrés. On a donné à cette unité le nom de *gramme*. La mesure de l'action de la pesanteur sur un corps quelconque est exprimée en multiples ou sous-multiples du gramme; cette mesure est le *poids* du corps.

Les autres forces sont comparées à la pesanteur. On cherche quel est le poids qui leur ferait équilibre, et ce poids est pris pour la mesure de la force. Si l'on exerce, par exemple, un effort de traction sur une corde en la tirant avec les mains par chaque bout, on produira un effet qu'il serait facile de reproduire au moyen d'un certain poids; ce poids sera la mesure de la force musculaire développée. La force de la vapeur est également mesurée par le poids qui produirait une même pression sur la même surface, ainsi qu'on l'a déjà vu.

Le travail d'une force se mesure par le produit du poids qui me-

sure cette force par la distance parcourue par le corps auquel elle est appliquée. Dans le langage ordinaire, si l'on considère un homme qui porte des pavés, par exemple, à une distance constante de 100^m., lorsqu'il aura transporté 200, 300, etc., pavés, on dira qu'il a fait un travail double, triple, etc., de celui qu'il avait effectué en transportant le premier cent; de même, s'il ne transporte que 100 pavés, mais qu'il les porte à 20^m, 30^m, etc., on dira encore qu'il a fait un travail double, triple, etc., de celui qu'il aurait effectué en ne les transportant qu'à 10^m; en un mot, on mesurera le travail de cet homme en multipliant le poids qu'il a transporté par la distance à laquelle le transport a été effectué. Le travail moteur ou résistant d'une force, se mesure exactement de la même manière. On est convenu d'exprimer la force en kilogrammes et les espaces parcourus en mètres; on donne à cette mesure le nom d'*unité dynamique*, de *dynamie* ou de *dynamode*, et on la représente par la notation ^{km} placée en exposant. (100^{km} représentent : 10^{kg} transportés à 10^m, ou 100^{kg} à 1^m, ou enfin 1^{kg} à 100^m.)

Dans la pratique, on se sert fréquemment de l'expression de *force de cheval* et *cheval-vapeur;* c'est une unité spéciale que l'usage a introduite, et qui, lorsqu'on attache un sens trop précis aux mots qui l'expriment, pourrait induire en erreur. On représente ainsi le travail qui correspond à 75^{kg} élevés à 1^m, ou 1^{kg} élevé à 75^m dans l'intervalle d'une *seconde* de temps; elle correspond, à fort peu près, à l'unité *routinière* de Watt, [33,000 livres (avoir du poids) élevées à 1 pied en une minute] qui correspondait elle-même à la force de chevaux de choix, capables de produire un travail de cette importance; la force des chevaux français n'est, en moyenne, que la moitié de celle qui a servi de terme de comparaison.

On exprime habituellement la puissance des machines en *chevaux-vapeur;* pour cela on observe, pendant un certain temps, le nombre de kilogrammes qu'elles sont capables d'élever à 1 mètre, on réduit ce nombre à l'intervalle d'une seconde; en divisant le résultat par 75, on a le nombre de *chevaux-vapeur* ou la *force en chevaux* de la machine.

Si l'on suppose, par exemple, qu'une machine à vapeur qui fait

marcher des pompes élève, en une minute, 1^{mcb} d'eau à 25^{m} de hauteur, c'est-à-dire qu'elle produise $25{,}000^{km}$, elle ne produira par seconde que $\frac{25{,}000^{km}}{60}$ ou $4{,}167^{km}$, et sa *force en chevaux* sera de 55 *chevaux* et demi.

Le nombre obtenu comme résultat du calcul qui précède correspond au *travail utile* de la machine, c'est-à-dire à la différence entre le travail moteur de la vapeur et le travail résistant dû au frottement et à toutes les causes de déperdition de force qui existent dans une machine, quelque parfaite que soit sa construction. C'est le nombre de *chevaux-vapeurs utiles* ou *effectifs*, qui représente la puissance de la machine.

Lorsqu'on veut comparer le travail que peut effectuer une machine à vapeur, à celui qu'on peut obtenir par l'emploi des chevaux, il faut tenir compte de la durée limitée du travail des animaux qui n'est que de 8 heures environ sur 24 heures, tandis qu'une machine à vapeur peut fonctionner d'une manière permanente ; dans les 24 heures, une machine de 10 chevaux effectifs peut donc exécuter le même travail que 60 chevaux, de force moyenne, qui seraient divisés en 3 relais égaux.

2° Mesure du travail des machines locomotives.— Le travail moteur, dans une machine locomotive, est celui qu'effectue la vapeur sur les pistons; le travail utile est celui qui reste disponible au point d'attache de la machine avec le convoi qu'elle doit remorquer.— Le travail moteur peut être évalué, d'une manière approximative, dans certaines circonstances ; lorsque la pression de la vapeur dans la chaudière est connue, on en déduit, au moyen de données expérimentales que nous ferons connaître ultérieurement, la pression de la vapeur sur les pistons qu'elle met en mouvement; en multipliant cette pression par la somme des espaces parcourus par le piston pendant un temps donné, on a le nombre de kilogrammes à un mètre ou de dynamies qui mesure ce travail; et en le doublant pour tenir compte du jeu simultané des deux pistons qui travaillent à la fois dans chaque machine locomotive, on a le travail total.

Lorsqu'on veut arriver à une approximation plus grande, il faut mesurer directement la pression dans le cylindre; on y parvient au moyen d'expériences assez délicates dont nous parlerons plus tard.

Pour mesurer le travail disponible de la machine, on intercale dans son attelage, au point d'attache du premier wagon du convoi, un ressort gradué à l'avance, et au moyen duquel on mesure l'effort de traction moyen que la machine exerce sur le convoi qu'elle remorque à sa suite; le produit de cet effort, évalué en kilogrammes, par l'espace parcouru par la machine et par le convoi, exprimé en mètres, fournit la mesure du travail cherché. Nous ne donnerons pas la description de l'appareil employé qui porte le nom de *dynamomètre*, et qui est connu de toutes les personnes qui peuvent être dans le cas de se livrer à des expériences de cette nature; nous nous contenterons de rapporter dans un chapitre spécial les résultats qui ont été obtenus par différents observateurs.

Le travail résistant se compose de deux éléments distincts, celui qui est dû aux résistances propres ou passives de la machine et qui doit être surmonté avant tout, et celui qui est dû à la résistance du convoi et qui est précisément égal au travail utile, lorsque le mouvement de translation est devenu uniforme. Le travail des résistances passives de la machine est égal à la différence entre le travail moteur et le travail utile.

§ 6. — Application de la vapeur à la Locomotion.

1° Théorie de la machine locomotive. — Une *machine locomotive* est une machine à vapeur liée à sa *chaudière* et portée sur un train de *roues*, qui lui sert tout à la fois de *support* et *d'appareil de propulsion*.

La chaudière se compose essentiellement d'un *foyer* intérieur, fermé à la partie inférieure par une *grille* qui porte le combustible, et enveloppé d'eau sur ses autres parois; il communique avec une série de *tubes* horizontaux, également enveloppés d'eau, dans lesquels passent les gaz provenant de la combustion pour se rendre à la *cheminée;* le tout est compris sous une enveloppe extérieure for-

mant la *chaudière* proprement dite, qui est construite de manière à résister à une pression élevée. Le *combustible* est renouvelé dans le foyer par le *chauffeur* qui accompagne la machine; l'eau puisée dans le tender est renouvelée par des *pompes alimentaires* mises en mouvement par le jeu même des pièces de la machine. La production de la vapeur, qui doit être dépensée dans la *machine à vapeur* proprement dite, se trouve donc assurée d'une manière régulière et continue.

La machine à vapeur proprement dite se compose de deux *cylindres* dans chacun desquels se meut un *piston* qui recueille le travail de la vapeur et le transmet sous la forme appropriée au service que doit faire l'appareil entier. Les deux cylindres forment deux machines à vapeur distinctes, mais exactement semblables et accomplissant des fonctions identiques. Chaque cylindre est fermé à ses deux extrémités par deux *plateaux* dont l'un est percé pour laisser passer la *tige* du piston; il offre latéralement, et à chaque extrémité, une ouverture allongée qui forme l'orifice des *lumières* ou conduits servant à l'introduction de la vapeur; les *lumières d'introduction* viennent aboutir, par deux orifices rectangulaires, à une surface plane parfaitement dressée qui porte le *tiroir* de distribution. — Ce tiroir, sorte de caisse renversée en fonte, est lié à une *tige* qui sert à lui imprimer un mouvement de va et vient; il est enveloppé dans une *boîte* fixée au cylindre qui est mise à volonté en communication avec la chaudière. — La figure de la planche 1 indique la disposition du cylindre et des différentes pièces qui viennent d'être énumérées.

Sous le tiroir, et entre les deux lumières d'introduction, vient déboucher une troisième lumière, de même longueur que les deux autres, mais plus large, qui aboutit à un tuyau de dégagement dont l'extrémité vient déboucher dans la cheminée, et qui, par conséquent, se trouve en communication avec l'atmosphère; elle reste constamment couverte par le tiroir, et sert à l'*échappement* de la vapeur qui a fonctionné dans le cylindre.

Lorsque les éléments de la machine sont dans la position indiquée par la figure de la planche 1, la vapeur, affluant constamment

dans la boite du tiroir, pénètre dans le cylindre par la lumière ouverte, et exerce sur le piston une pression qui met celui-ci en mouvement et le pousse vers le fond opposé du cylindre. — Si l'on suppose que, par une combinaison de mécanisme quelconque, au moment où le piston arrive à l'extrémité de sa course, le tiroir soit déplacé et vienne occuper la deuxième position indiquée par la figure, la vapeur cessera d'affluer sur la face postérieure du piston; celle qui s'y est accumulée sortira par la lumière qui servait tout à l'heure à l'introduction et s'échappera dans l'atmosphère en parcourant la *lumière* et le *tuyau d'échappement;* de l'autre côté, au contraire, la vapeur affluera sur la face antérieure du piston, et le fera rétrograder, en déterminant sur la surface une pression. Un nouveau déplacement du tiroir, que l'on ramènera à sa première position au moment où le piston arrive à la fin de la course, renversera le jeu de la vapeur, et le piston, pressé de nouveau sur sa face postérieure, reprendra son mouvement primitif. Cette simple analyse fait déjà voir comment on peut recueillir le travail emprunté à la force élastique de la vapeur et l'appliquer à donner au piston de la machine un mouvement de va et vient indéfini.

Pour produire le mouvement du tiroir en rapport avec celui du piston, et arriver, en un mot, à obtenir une machine dont le mouvement se perpétue de lui-même une fois qu'elle a été mise en train, il suffirait de relier l'extrémité de la tige qui traverse la boite du tiroir, avec celle d'un levier dont l'autre extrémité serait frappée alternativement par des tocs placés sur la tige du piston, et ayant un écartement calculé de manière à faire coïncider le déplacement du tiroir avec l'arrivée du piston à l'extrémité de sa course. C'est ainsi qu'étaient disposées les premières machines fixes et que le sont encore les machines d'épuisement, et beaucoup d'autres machines. — Mais, dans les machines locomotives, on a recours à une autre disposition qui constitue le mécanisme de *distribution de la vapeur*.

Le mouvement du tiroir est pris sur l'*essieu* qui porte les *roues motrices* ou *essieu moteur*. La tige du piston, par l'intermédiaire de la *bielle*, agit sur la *manivelle* de cet essieu moteur, et lui im-

prime un mouvement de rotation autour de son axe de figure ; il suffit pour cela que le rayon de la manivelle soit exactement égal à la moitié de la course du piston. Lorsque le piston est à bout de course, la tige du piston, la bielle et la manivelle sont sur une même ligne droite passant par l'axe du cylindre ; la manivelle est au *point mort* et peut suivre le piston dans sa course rétrograde.— Il semble, au premier abord, que la manivelle peut indifféremment continuer son mouvement de rotation ou revenir en arrière ; cela aurait lieu en effet si l'essieu ne portait pas des roues dont la vitesse acquise ne peut pas être instantanément amortie, si le mouvement de translation de la machine elle-même, lancée à grande vitesse, ne forçait pas les roues à continuer leur mouvement de rotation, si enfin l'essieu n'était pas sollicité par les pistons des deux cylindres, c'est-à-dire par deux machines agissant sur deux manivelles placées à angle droit. L'action de la vapeur transmise à l'essieu moteur a donc pour effet de lui imprimer un mouvement de rotation continu. La figure 1, planche 2, indique la relation exacte qui existe entre le mouvement du piston et de la manivelle, pour chacune des positions de celles-ci, variant de 30° en 30°, la bielle ayant exactement cinq fois la longueur du rayon de la manivelle. — Les positions que prend successivement le piston dans le cylindre ne sont pas exactement symétriques par rapport au milieu de la course totale, cela tient au peu de longueur de la bielle qui ne peut pas être considérée comme restant toujours parallèle à elle-même dans toutes ses positions.

L'essieu, ainsi mis en mouvement par le piston, commande le tiroir de distribution au moyen d'une manivelle secondaire, d'un petit rayon, qui imprime, par l'intermédiaire d'une bielle, un mouvement de va et vient à la tige du tiroir et au tiroir lui-même. La manivelle de distribution est disposée à angle droit avec la manivelle du piston, de telle sorte que l'une approche de la position horizontale lorsque l'autre approche de sa position verticale ; lorsque le mouvement de translation du piston se ralentit pour s'arrêter et changer de sens à l'extrémité de la course, la vitesse du tiroir s'accélère pour atteindre son maximum, *et vice versâ*. On con-

çoit, par suite, que, si le tiroir est construit de telle sorte que les deux rebords extrêmes aient une épaisseur exactement égale à la largeur des lumières, et si on règle la longueur de la tige du tiroir de telle sorte que les rebords du tiroir ferment exactement les lumières au moment où le piston arrive à l'extrémité de sa course, dès que le piston commencera sa course rétrograde, le tiroir démasquera la lumière qui doit livrer passage à la vapeur, et, de plus, il la démasquera très-rapidement, car il est alors dans une position très-voisine de celle qui correspond au maximum de vitesse [il serait à son maximum de vitesse, si la longueur limitée de la bielle qui mène le tiroir, n'occasionnait pas dans la position de celui-ci un défaut de symétrie semblable à celui qui se produit pour le piston].

La longueur de la manivelle qui commande le tiroir, l'écartement des lumières, l'épaisseur des cloisons qui séparent les lumières d'introduction de la lumière d'échappement, sont calculées de telle sorte que le tiroir, dans sa marche, ne puisse pas démasquer la lumière d'échappement, car la vapeur de la chaudière s'échapperait directement dans l'atmosphère.

Dans la pratique, on remplace la manivelle de distribution par un *excentrique* (*fig.* 2, *pl.* 2); cette pièce consiste en un disque de métal calé sur l'essieu dans une position excentrique, et enveloppé d'un collier qui commande la bielle de distribution, laquelle prend alors le nom de *barre d'excentrique*. Le centre du collier coïncidant toujours avec celui du disque, le mouvement de la barre d'excentrique a lieu, comme si elle était commandée par une manivelle dont le rayon serait exactement égal à la distance qui existe entre l'axe de l'essieu et le centre du disque excentrique. On adopte cette disposition pour éviter de multiplier les coudes de l'essieu, dont l'exécution est fort difficile, et qui doit avoir une grande solidité.

Dans la plupart des machines que l'on construit actuellement, les tiroirs sont placés verticalement, sur le côté des cylindres, et la tige de chaque tiroir est commandée directement par l'excentrique. Lorsque ces tiroirs sont placés horizontalement et au-dessus du cylindre, il est nécessaire de renvoyer le mouvement de l'excentri-

que, à la hauteur de la tige du tiroir, par un levier mobile autour d'un axe de rotation ; l'une des extrémités de ce levier est commandée par la barre d'excentrique, l'autre commande la tige du tiroir. On verra plus loin, dans la description détaillée des différentes parties de la machine locomotive, comment est disposé le mécanisme de la distribution dans ces différents cas ; nous nous contentons ici d'exposer le principe. La *fig.* 3, *pl.* 2, a pour objet de faire voir clairement quel est le jeu relatif de ces différents éléments dans le cas où le mouvement est renvoyé par un levier. Les proportions relatives des différentes parties ont été exagérées à dessein, pour rendre la figure plus intelligible ; la légende suivante en donnera l'explication.

o — Centre de la projection de l'essieu ;
oa — Circonférence décrite par la manivelle motrice ;
of — — par le centre de l'excentrique ;
aa', *bb'*, *cc'*, *dd'*, *ee'* — Positions successives de la bielle motrice ;
ff', *gg'*, *hh'* — Positions correspondantes de la barre d'excentrique ;
f'f'', *g'g''*, *h'h''* — Positions correspondantes du levier de distribution ;
f''', *g'''*, *h'''* — Positions correspondantes de l'extrémité de la tige du tiroir.

a' e' représente l'excursion totale de la tête de la tige du piston et par suite celle du piston qui lui est attaché, *f''' h'''* la moitié de l'excursion de la tige du tiroir et du tiroir lui-même.

Les explications qui précèdent font voir sur quel principe est basé le jeu relatif du piston et du tiroir, et comment le mouvement indéfini de la machine est assuré, lorsque la vapeur lui est fournie en quantité suffisante par la chaudière.

Lorsque le tiroir est lié au piston par le mécanisme de la distribution, le sens du mouvement de rotation de l'essieu est fixé ; il ne pourrait être changé que par l'application d'une force extérieure qui l'emporterait sur l'action de la vapeur et forcerait le

piston à marcher dans le sens contraire à la direction suivant laquelle la pression de la vapeur le sollicite. Dans la pratique, il est nécessaire de faire marcher les machines tantôt en avant, tantôt en arrière. Dans les premières locomotives, on satisfaisait à cette condition en rendant l'excentrique mobile à volonté sur l'essieu et en le déplaçant de 180° pour lui donner la position correspondant à la marche en arrière; cette disposition a été changée, parce qu'elle était d'un emploi difficile pendant la marche, et pour d'autres motifs qui ressortiront plus loin. On se sert maintenant de deux excentriques distincts pour chaque cylindre, affectés l'un à la marche en avant, l'autre à la marche en arrière, et, au moyen d'un mécanisme particulier, ou appareil de *changement de marche*, on embraie à volonté la tige du tiroir avec l'une ou l'autre des barres d'excentriques.

Lorsque la transmission du mouvement de l'excentrique au tiroir a lieu directement et sans l'intermédiaire d'un levier, chaque excentrique doit être calé de telle sorte que le rayon d'excentricité précède le rayon de la manivelle dans le mouvement de rotation commun; le contraire a lieu lorsque la transmission s'opère par l'intermédiaire d'un levier qui renverse le mouvement. Les deux excentriques de la marche en avant et de la marche en arrière sont toujours opposés (1).

Comme on l'a vu plus haut, la vapeur transmet sa pression par l'intermédiaire du piston, à la manivelle de l'essieu moteur, et tend à faire tourner celui-ci d'une manière continue. L'essieu porte à chaque extrémité une roue qui s'appuie sur le rail et supporte une partie du poids total de la machine; les deux roues, solidaires entre elles, sont donc sollicitées par l'action combinée des deux pistons, qui équivaut à l'action d'une force permanente agissant à

---

(1) Nous avons évité à dessein de multiplier les figures; les personnes qui ne seront pas familières avec la théorie de la machine à vapeur, pourront y suppléer facilement au moyen de tracés graphiques, qui, répétés dans un grand nombre de positions respectives du tiroir et du piston, les habitueront à se rendre nettement compte du mouvement relatif de ces organes essentiels.

une distance constante de l'axe. Les roues ne pouvant *glisser* sur les rails, à cause du frottement ou de l'*adhérence*, l'action de la vapeur a pour effet de les faire *rouler* et d'imprimer à la machine entière, et au train qu'elle remorque, un mouvement de propulsion.

L'effort exercé sur l'essieu, résultant de l'action de la vapeur sur les deux pistons, n'est pas constant; mais les deux manivelles étant à angle droit, l'une d'elles est sollicitée par l'effort maximum, lorsque l'effort qui sollicite l'autre est nul; l'action exercée sur l'essieu moteur ne varie donc pas entre des limites très-écartées. Le mouvement de la machine n'en est pas moins régulier; car la masse totale mise en mouvement est considérable et animée d'une grande vitesse; si la force motrice venait à cesser d'agir lorsque cette masse est lancée, son mouvement se continuerait encore longtemps avant que la vitesse fût entièrement amortie; la masse fait volant, et il en résulte que les variations dans l'intensité de la force motrice ne donnent pas lieu à des variations sensibles de vitesse.

Si l'on désigne par P la pression totale de la vapeur sur l'un des pistons, par P' la pression sur l'autre piston, par β l'inclinaison de la bielle sur l'axe du cylindre, par α celle de la manivelle sur la même ligne (*fig. de la pl.* 3), il est facile de trouver l'expression de l'effort E, exercé tangentiellement à la circonférence décrite par la manivelle. En désignant par r le rayon de la manivelle et par L la longueur de la bielle, on a, d'après les principes connus de la trigonométrie rectiligne :

$$L \sin.\beta = r \sin.\alpha$$

d'où
$$\sin.\beta = \frac{r}{L}\sin\alpha,\ \cos.\beta = \frac{1}{L}\sqrt{L^2 - r^2 \sin.^2\alpha}.$$

La composante de la pression P dans le sens de la bielle est égale à $\frac{P}{\cos.\beta}$; elle se décompose tangentiellement à la circonférence de la manivelle en

$$P\frac{\sin.(\alpha+\beta)}{\cos.\beta} = P\left\{\sin.\alpha + \frac{r \sin.\alpha \cos.\alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin.^2\alpha}}\right\}.$$

Pour l'autre piston on a :

$$P' \left\{ \cos.\ \alpha + \frac{r \sin.\ \alpha \cos.\ \alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \cos.^2\ \alpha}} \right\}$$

ou comme $P' = P$,

$$P \left\{ \cos.\ \alpha + \frac{r \sin.\ \alpha \cos.\ \alpha}{\sqrt{L^2 - r^2 \cos.^2\ \alpha}} \right\}.$$

L'effort total exercé sur l'essieu tangentiellement à la circonférence de la manivelle est dônc égal à :

$$E = P \left\{ \sin.\alpha + \cos.\alpha + r \sin.\alpha \cos.\alpha \left(\frac{1}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin.^2 \alpha}} + \frac{1}{\sqrt{L^2 - r^2 \cos^2 \alpha}} \right) \right\}.$$

La valeur de E atteint son minimum lorsque $\alpha = 0°$, et la valeur maximum lorsque $\alpha = 45°$;

On a dans le premier cas ; $E = P$

et dans le second : $E = P \left\{ 2 \sqrt{\tfrac{1}{2}} + \frac{1}{\sqrt{25 - \frac{1}{2}}} \right\} = 1.616\ P.$

La variation de l'effort transmis par la vapeur à l'essieu moteur varie donc seulement dans le rapport de 1 à 1,616.

Le travail moteur de la vapeur sur chaque piston est mesuré par le produit de la pression totale, exprimée en kilogrammes, par l'espace parcouru par le piston ; pour chaque tour de roue, le piston parcourt deux fois la longueur du cylindre, ou un espace égal à quatre fois le rayon de la manivelle ; le travail moteur pour chaque piston est donc égal à $4\ Pr$, et pour l'ensemble des deux cylindres à $8\ Pr$.

Ce travail moteur, abstraction faite des frottements intérieurs du mécanisme, est transmis en entier à l'essieu moteur. Le travail résistant est le produit des résistances de toute espèce qui s'opposent au mouvement de déplacement de la machine et du train qu'elle remorque (résistances que l'on peut supposer toutes ramenées à un effort résultant T parallèle à l'axe de la machine), multipliées par l'espace parcouru par la machine elle-même. Si l'on désigne par R le rayon des roues motrices, ce travail résistant est

égal, pour une révolution complète des roues motrices, à $T\,2\,\pi\,R$; il est égal d'un autre côté au travail moteur de la vapeur qu'il absorbe en entier, lorsque le mouvement est devenu uniforme; on a donc

$$T\,2\,\pi\,R = 8\,Pr \text{ d'où } P = \frac{T\,\pi}{4\,r}.$$

Si l'on désigne par p la pression effective de la vapeur sur un centimètre carré, par d le diamètre du piston en centimètres, par D le diamètre des roues motrices, par l la course du piston, on aura

$$P = \frac{\pi\,d^2}{4}p,\ l = 2r,\ D = 2r \text{ et } T = p\,\frac{d^2\,l}{D}.$$

Cette dernière expression établit la relation qui existe entre la pression de la vapeur exprimée en kilogrammes par centimètre carré et la résistance totale qu'elle est appelée à surmonter.

Il résulte, en outre, des formules qui précèdent que la résistance totale au mouvement peut être assimilée à une force agissant tangentiellement à la circonférence des roues motrices.

2° Avance et recouvrement. — Nous avons dit plus haut que l'épaisseur des bords du tiroir devait être égale à la largeur des lumières, de manière à ce qu'elles fussent fermées exactement toutes les deux, lorsque le tiroir était au milieu de sa course, c'est-à-dire au moment où le piston, arrivant à l'extrémité de la course, s'arrêtait pour reprendre son mouvement en sens contraire; c'est, en effet, comme cela que les premiers tiroirs ont été établis; mais l'expérience a conduit à faire subir à cette disposition une modification très-simple, qui a exercé une influence très-importante sur la marche des machines. Quelle que soit la précision qui ait présidé au montage de la distribution, il y a toujours un peu de jeu dans les pièces, surtout lorsqu'elles sont fatiguées par un certain temps de service; le tiroir, soumis à une pression très-forte, exerce un frottement considérable sur la table qui le supporte; les pièces qui le tirent et le poussent alternativement, prises dans leur ensemble, s'allongent ou se raccourcissent sous l'action de la résistance due au frottement. Il en résulte, dès que le jeu des pièces est un peu notable, que le tiroir est effectivement en retard sur la po-

sition qu'il devrait occuper théoriquement ; d'un côté, il ne démasque pas assez tôt la lumière qui doit donner accès à la vapeur, et le piston, entraîné par la manivelle, s'avance en faisant le vide ; de l'autre côté, la lumière reste ouverte, en communication avec la boîte du tiroir, au lieu d'être en communication avec le tuyau d'échappement, et la vapeur continue à affluer sur le piston qui la refoule dans la chaudière. Pendant tout le temps que le tiroir reste en arrière de sa position normale, il en résulte un travail résistant au lieu du travail moteur que devrait développer la vapeur. Le retard du tiroir peut aller jusqu'à 4 à 5 millimètres ; on remédie à cet inconvénient, en donnant dans le montage une *avance* correspondante au tiroir ; il suffit pour cela de décaler l'excentrique d'un certain nombre de degrés, de lui donner une *avance angulaire*, calculée de manière à produire dans la position du tiroir sur sa table une *avance linéaire* de 4 à 5 millimètres. Cette simple modification dans le calage de l'excentrique suffit pour augmenter d'une manière très-remarquable la puissance des machines et la vitesse qu'elles sont susceptibles de prendre.

L'expérience a fait voir qu'il ne suffisait pas d'apporter cette modification aux machines, pour en obtenir les meilleurs résultats possibles ; la vapeur, qui remplit le cylindre au moment où le piston arrivé à la fin de sa course prend son mouvement rétrograde, ne peut pas s'échapper instantanément dans l'atmosphère ; la lumière ne s'ouvre que graduellement et ne laisse passer que successivement la vapeur dont le volume augmente par suite de la diminution de pression. Cet écoulement est d'autant plus difficile que la vitesse du piston est plus considérable ; il en résulte une *contre-pression* qui absorbe en pure perte une partie du travail moteur, et qu'il importe de réduire autant que possible. On a été conduit, pour remédier à cet inconvénient, à augmenter encore l'avance du tiroir en décalant l'excentrique d'une plus grande quantité, de manière à faire commencer le dégagement de la vapeur un peu avant la fin de la course du piston ; de telle sorte que, lorsqu'il commence sa course rétrograde, une grande partie de la vapeur soit déjà sortie du cylindre. Cette pratique a eu encore pour avantage de don-

ner une certaine avance à l'admission, de telle sorte que la vapeur, qui subit une condensation plus ou moins considérable, lorsqu'elle commence à pénétrer dans le cylindre, ait pu atteindre toute sa pression au moment où le piston reprend sa course. L'avance à l'admission doit être très-faible, tandis que l'avance à l'échappement doit être assez considérable. Pour satisfaire à cette double condition, on décale l'excentrique de toute la quantité qui est nécessaire pour produire l'avance linéaire à l'échappement, et on réduit à la limite convenable l'avance à l'admission en élargissant ntérieurement les bords du tiroir, leur donnant ainsi un certain *recouvrement* sur les lumières.

Telle est l'origine des dispositions essentielles qui ont constitué l'un des perfectionnements les plus importants de la machine à vapeur en général, et particulièrement de la machine locomotive. Ce résultat n'a pas été obtenu d'une manière aussi simple que peuvent le faire supposer les explications qui précèdent : ce ne sont pas précisément les considérations dans lesquelles nous sommes entrés pour rendre l'explication du fait plus simple qui ont guidé les praticiens ; tout le monde n'est peut-être même pas d'accord avec nous sur le but véritable de l'avance et du recouvrement. Quelques personnes ont pensé, par exemple, qu'il ne fallait donner qu'une faible avance à l'échappement, et ont donné du *recouvrement intérieur* ; il n'en est pas moins constant que lorsqu'on cherche à se rendre compte de ce qui se passe, c'est à l'explication que nous venons de donner qu'il faut s'arrêter.

On ne s'est pas contenté, dans l'application de l'avance et du recouvrement, de s'en tenir aux limites nécessaires pour obtenir les effets dont nous avons signalé l'importance ; on l'a poussée plus loin, mais dans un but distinct que nous allons faire connaître dans le paragraphe suivant.

3° Détente fixe et variable. —Nous avons supposé, dans ce qui précède, que la vapeur entrait dans le cylindre pendant toute la course du piston ; de telle sorte que le volume de vapeur dépensé fût égal au volume engendré par le piston ; mais pour tirer de la

vapeur le plus grand parti possible, il convient de la faire travailler par *détente* ou par *expansion*. — Si l'on suppose que, par une disposition quelconque, l'introduction de la vapeur soit interceptée, lorsque le piston a déjà effectué une partie de sa course : lorsqu'il est à moitié, par exemple : pendant le reste de la course, la quantité de vapeur restant constante, elle se dilatera en augmentant de volume jusqu'au moment où, le piston arrivant à l'extrémité du cylindre, elle commencera à s'échapper dans l'atmosphère. Si la pression initiale de la vapeur est suffisamment élevée, elle conservera, pendant toute la période de la détente, une pression supérieure à la pression atmosphérique, et produira encore, par l'excès de sa propre pression, un certain travail utile, qui s'ajoutera à celui qu'elle a produit pendant la première partie de la course.

Pour calculer le travail de la vapeur pendant la détente, on suppose ordinairement que la dilatation de la vapeur dans le cylindre a lieu suivant la loi de Mariotte; cette hypothèse n'est pas rigoureusement exacte; car il faudrait tenir compte de la variation de température que la vapeur éprouve; il faudrait de plus démontrer l'exactitude de la loi de Mariotte elle-même appliquée à la vapeur d'eau, et tout semble indiquer, au contraire, qu'elle n'est qu'approximative. Quoi qu'il en soit, l'expérience démontre, qu'en fait, la décroissance de la pression pendant la détente ne s'écarte pas beaucoup de celle que donnerait la loi de Mariotte ; nous nous en tiendrons donc à cette hypothèse, qui est suffisamment approchée, surtout pour les machines locomotives.

Cela posé, si l'on désigne par p la tension de la vapeur, exprimée en kilog. par centimètre carré, pendant qu'elle afflue dans le cylindre (l'expérience a démontré que cette pression restait sensiblement constante pendant toute l'admission), par p' la valeur moyenne de la pression résistante absolue qui s'exerce derrière le piston, par l la course totale du piston, par d son diamètre en centimètres, par l' la portion de la course pendant laquelle la détente a lieu, on a pour l'expression du travail moteur de la vapeur pendant l'oscillation simple du piston ou pendant une demi-révolution des roues motrices :

$$\frac{\pi d^2}{4} p (l - l') \left\{ 1 + 2{,}303 \log. \frac{l}{l - l'} \right\}.$$

On a d'un autre autre côté, pour le travail résistant : $\frac{\pi d^2}{4} p' l.$

Le travail utile de la vapeur est donc égal à :

$$\frac{\pi d^2}{4} \left\{ p (l - l') \left(1 + 2{,}303 \log. \frac{l}{l - l'} \right) - p' l \right\} (1).$$

Pour apprécier les effets de la détente, nous ferons momentanément abstraction de la résistance derrière le piston. Si l'on suppose que la vapeur soit dépensée à une pression constante et que le poids de la vapeur dépensée reste lui-même constant, quelque soit le degré de détente, ce qui revient à considérer un cylindre de course constante dont le diamètre augmente, au fur et à mesure que la longueur de l'admission diminue, le facteur commun $\frac{\pi d^2}{4} p (l - l')$, qui est proportionnel au poids de vapeur dépensée, restera également constant; le seul élément variable sera le rapport $\frac{l}{l - l'}$ qui deviendra d'autant plus grand que le terme $l - l'$ sera plus petit, c'est-à-dire que la détente aura lieu pendant une plus grande fraction de la course. Le tableau suivant montre comment varie la quantité de travail moteur qu'un poids constant de vapeur est susceptible de produire, à pression

(1) Si l'on désigne par λ la distance du piston à l'origine de la course, à un point quelconque de la période de détente, par q la tension correspondante de la vapeur, le travail moteur élémentaire pendant la détente sera $\frac{\pi d^2}{4} \pi d\lambda$ et le travail total pendant la détente $\frac{\pi d^2}{4} \int_{l-l'}^{l} q \, d\lambda$, or comme

$q = \frac{p (l - l')}{\lambda}$, on a : $\frac{\pi d^2}{4} p (l - l') \int_{l-l'} \frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{\pi d^2}{4} p (l - l') \frac{1}{\log. e} \log. \frac{l}{l - l'}$,

le travail total de la vapeur sera donc égal à

$$\frac{\pi d^2}{4} p (l - l') \left\{ 1 + 2{,}303 \log. \frac{l}{l - l'} \right\}.$$

constante, lorsque l'expansion de la vapeur devient de plus en plus considérable :

$\frac{l'}{l}$	$\frac{l}{l-l'}$	$\left(1+2.303 \log. \frac{l}{l-l'}\right)$
0	1	1.00
0.1	$\frac{10}{9}$	1.105
0.2	$\frac{10}{8}$	1.223
0.3	$\frac{10}{7}$	1.357
0.4	$\frac{10}{6}$	1.511
0.5	$\frac{10}{5}$	1.693
0.6	$\frac{10}{4}$	1.916
0.7	$\frac{10}{3}$	2.204
0.8	$\frac{10}{2}$	2.609
0.9	10	3.303

Les résultats numériques compris dans ce tableau font voir tout le parti que l'on peut obtenir de la détente, soit pour économiser la dépense de vapeur et de combustible dans une machine donnée, soit pour augmenter sa puissance sans modifier les conditions de la vaporisation.

L'application de la détente aux machines locomotives a en outre pour résultat d'amoindrir la résistance derrière le piston, en diminuant la quantité de vapeur qui doit s'écouler dans un temps donné par des orifices et par des conduits d'une section déterminée.

On a vu précédemment que, pour faciliter l'introduction de la vapeur dans les cylindres et son émission, il convenait de donner de l'avance au tiroir, en proportion plus forte pour l'échappement que pour l'admission, ce qui conduisait à donner au tiroir du recou-

vrement extérieur. — Si l'on cherche à se rendre compte du mouvement du tiroir, en construisant une épure (*fig. de la pl.* 4) qui laisse la trace de ses positions successives en rapport avec la position et la dimension des lumières et avec le mouvement du piston, on reconnait facilement que l'application du recouvrement extérieur a pour résultat de produire la détente de la vapeur pendant une petite partie de la course ; en augmentant l'avance et le recouvrement, on arrive à détendre pendant une partie très-notable de la course. Cette figure représente le règlement adopté pour la distribution des machines à voyageurs du chemin de fer du Nord.

Les éléments de la distribution sont les suivants :

Course du piston..............................	0m 560
Course du tiroir..............................	0 110
Ecartement des bords extérieurs des lumières d'admission..	0 196
Ecartement des bords intérieurs des lumières d'admission..	0 116
Avance angulaire..............................	30°
Recouvrement extérieur de chaque côté..........	0 024
— intérieur d°	0 001
Avance linéaire à l'admission....................	0 005
— — à l'échappement................	0 028

(Les nombres qui expriment l'avance angulaire et linéaire sont établis dans la supposition que les pièces de la distribution sont rigides et n'ont pas de jeu; en réalité il y a jeu et flexibilité, ce qui modifie les résultats fournis par la discussion de l'épure ; nous supposerons néanmoins que les choses se passent comme l'indique le tracé graphique.)

La figure donne :

1° Le tracé de la circonférence décrite par la manivelle de l'essieu moteur (une flèche indique le sens du mouvement);

2° La division de cette circonférence de 15° en 15° et les positions correspondantes du piston, le mouvement de celui-ci étant

supposé symétrique, ou, ce qui revient au même, la bielle motrice étant supposée d'une longueur infinie;

3° La position du rayon d'excentricité avancé de 30° sur sa position normale;

4° La circonférence décrite par le rayon d'excentricité, divisée de 15° en 15° en concordance avec la division de la circonférence décrite par la manivelle motrice;

5° Le plan des lumières d'admission et d'échappement;

6° Le profil du tiroir et sa position sur les lumières aux deux extrémités de la course du piston;

7° Une série de courbes indiquant la marche du tiroir en concordance avec celle du piston. (Ces courbes ont pour abscisses les distances parcourues par le piston à partir de l'origine de sa course, et pour ordonnées les distances parcourues par les bords intérieurs et extérieurs du tiroir à partir de leur position initiale.)

Les courbes qui indiquent la marche des bords du tiroir étant tracées à partir de la position initiale du tiroir, les points où elles viennent rencontrer la trace des bords des lumières sont précisément les points de la course du piston où elles viennent démasquer ou fermer les lumières; ces courbes indiquent en outre de quelle quantité les lumières d'admission sont ouvertes pour chaque position du tiroir pendant l'admission.

Ce tracé graphique montre :

1° Que l'introduction de la vapeur commence un instant avant que le piston soit arrivé à l'extrémité de la course pour reprendre son mouvement rétrograde;

2° Que la vapeur est introduite sur une portion de la course du piston, à partir de son origine, égale à..	0m 438
3° Que la détente a lieu sur une longueur mesurée jusqu'à la fin de la course du piston, égale à.......	0 122
4° Que l'échappement commence lorsque le piston a encore à parcourir..........................	0 034
5° Que l'échappement est fermé et que la vapeur se comprime, derrière le piston, sur une longueur de...	0 042

La détente a donc lieu pendant $\frac{122}{560}$, ou environ 1/5e de la course.

La compression qui a lieu par suite de l'interruption de l'échappement, avant la fin de la course, est favorable à l'économie de vapeur lorsqu'elle n'est pas exagérée, car le piston ne vient pas s'appliquer exactement contre les fonds du cylindre, il reste toujours un certain *espace nuisible*, qui s'augmente du volume de la lumière d'introduction ; cet espace nuisible doit être avant tout rempli de vapeur à la pression de la chaudière, et cette vapeur est perdue sans rendre de service ; en remplissant l'espace nuisible par la compression de la vapeur qui reste dans le cylindre au moment où l'échappement est fermé, on réduit d'une quantité correspondante la dépense de vapeur, sans produire une résistance sensible au mouvement du piston.

La détente ainsi produite par avance et recouvrement est la *détente fixe* des machines locomotives. — On la pousse généralement au tiers, et quelquefois même jusqu'à moitié, mais alors on crée une difficulté de service en rendant le démarrage plus difficile; en effet, les tiroirs prennent des dimensions très-grandes et sont soumis au départ à une pression considérable qui peut gêner le mouvement de la machine, mais on est exposé surtout à ce que l'un des cylindres soit fermé à l'accès de la vapeur, lorsque dans l'autre cylindre le piston est près de l'extrémité de la course et n'exerce plus sur la manivelle qu'un effort très-réduit, par suite du peu d'amplitude de l'angle que fait la bielle motrice avec la manivelle. — Lorsque la détente fixe est réglée à moitié, il faut presque toujours aider à la mise en train, en agissant avec une pince sur les roues de la machine ou du tender.

La *détente variable* se produit au moyen d'appareils de distribution qui permettent de faire varier, pendant la marche de la machine, la portion de la course pendant laquelle la vapeur est admise. On a cherché dans les machines locomotives, comme dans les machines fixes, à rendre la détente variable à volonté au moyen de deux et même de trois tiroirs superposés dont on fait varier la

course relative. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce sujet; mais nous devons dire dès à présent qu'aucun des systèmes proposés n'est devenu d'un emploi général; ce résultat, qui peut paraître étonnant au premier abord, doit être attribué à ce fait que les frottements des tiroirs à détente variable, comparés aux tiroirs simples, absorbent une portion plus notable de la puissance motrice, en même temps que la complication plus grande du mécanisme occasionne des réparations plus fréquentes et plus dispendieuses, de telle sorte que les avantages théoriques incontestables de la détente variable semblent disparaître en présence des inconvénients pratiques de son application. Nous nous abstiendrons du reste d'émettre une opinion formelle à ce sujet, attendu que nous manquons d'expériences comparatives faites dans des conditions assez sûres pour arrêter un jugement définitif.

On produit encore la variation de la détente, avec moins de régularité et avec moins d'étendue, à la vérité, qu'en employant deux tiroirs, en appliquant à la distribution ordinaire à deux excentriques et à un seul tiroir une disposition simple, qui a en outre l'avantage d'être une amélioration du mécanisme destiné à opérer le changement de marche. Nous voulons parler de la *coulisse de Stéphenson* dont l'usage est devenu très-général. — C'est une détente variable assez imparfaite au point de vue théorique, mais très-convenable pour l'application; cette disposition sera l'objet d'une description détaillée; nous n'insistons donc pas en ce moment sur ce sujet.

Le but de la détente variable, lorsqu'on l'applique aux machines locomotives, est de faire varier le volume et le poids de vapeur dépensée en raison du travail moteur à développer, suivant la charge des convois, leur vitesse, le profil du chemin, l'état de l'atmosphère, etc., circonstances qui varient d'un instant à l'autre pendant la marche, de telle sorte que la vapeur ne soit jamais employée qu'à haute pression pendant toute la période d'admission.

4° Vaporisation et tirage. — Nous n'avons pas insisté jusqu'ici sur la production de la vapeur; tout le monde sait en quoi con-

siste une chaudière ; nous donnerons plus loin la description détaillée de celles qu'on emploie dans la construction des machines locomotives. Nous signalons seulement la disposition adoptée pour activer la combustion du foyer, et obtenir d'une chaudière de proportions relativement très-restreintes une production considérable de vapeur. — Pour cela on fait échapper la vapeur qui a travaillé dans les cylindres, à la base de la cheminée en tôle qui surmonte la boîte à fumée et fait suite aux tubes à air chaud. Chaque fois que le mouvement de l'un des deux tiroirs vient mettre la capacité du cylindre, pleine de vapeur, en communication avec le tuyau d'échappement, la vapeur s'échappe dans la cheminée avec une vitesse qui décroît au fur et à mesure que le cylindre se vide et que la tension de la vapeur dilatée diminue. — Le tuyau d'échappement, à partir d'un point plus ou moins voisin de son orifice, est commun aux deux cylindres, de telle sorte que, pour chaque tour des roues motrices, quatre échappements successifs de vapeur ont lieu dans ce tuyau et par suite dans la cheminée, avec une très-grande vitesse au commencement et avec une vitesse décroissante pendant le reste du temps ; il sort donc par l'orifice du tuyau d'échappement un jet continu de vapeur qui, à quatre instants distincts, également espacés si la machine est bien réglée, acquiert brusquement et momentanément une très-grande vitesse. La vapeur, s'échappant ainsi dans la cheminée, détermine, dans la boîte à fumée et, par suite, dans les tubes et dans le foyer, une très-forte aspiration qui fait passer à travers la masse de combustible placé sur la grille la quantité d'air nécessaire à une active combustion.

L'action exercée sur le tirage par l'échappement de la vapeur est évidente ; mais on ne s'est pas toujours mis d'accord sur la cause de cette action ; quelques personnes ont vu là un effet analogue à celui qu'on obtient dans les machines fixes en lâchant un jet continu et uniforme de vapeur dans la cheminée, ou, sous la grille, dans un tube par lequel on fait passer l'air qui alimente la combustion, le courant rapide de vapeur n'ayant d'autre effet que d'entraîner, par voie de frottement, les gaz chauds ou l'air au milieu desquels cette vapeur s'écoule avec une très-grande vitesse. — D'autres per-

sonnes ont pensé que la vapeur s'échappant, d'une manière discontinue et par bouffées, poussait devant elle l'air en mouvement dans la cheminée, et remplissait en quelque sorte l'office d'un piston qui faisait le vide par aspiration. Il est certain que ces deux causes concourent à produire le même effet; on sait en effet qu'un jet continu de vapeur, dans la cheminée d'une machine fixe, active le tirage, et, d'un autre côté, on a remarqué que tout ce qui avait pour résultat de rendre l'échappement plus saccadé, ce que l'on reconnaît facilement au bruit sec que fait la vapeur en s'échappant dans la cheminée, augmentait l'activité de la vaporisation et par suite du tirage, dans les machines locomotives.

Un des grands perfectionnements apportés, dans ces derniers temps, à la construction des machines locomotives a consisté à rendre variable à volonté l'orifice du tuyau d'échappement; en réduisant la vitesse d'écoulement de la vapeur on diminue le tirage; cela permet de le proportionner à l'état de la combustion et à la dépense de vapeur dans les cylindres, la contre-pression derrière les pistons diminue également, et l'effet utile de la vapeur augmente.

On doit apporter dans la construction des machines locomotives une attention toute spéciale à remplir toutes les conditions propres à rendre la production de vapeur énergique, et à la mettre en rapport avec la dépense qui doit être faite dans les cylindres. On doit avant tout donner à la chaudière des dimensions et une surface de chauffe en rapport avec le travail qu'elle doit effectuer, et avec la nature du combustible qu'elle doit brûler; on doit, en outre, s'appliquer à combiner l'échappement, de manière à obtenir, avec la contre-pression la plus faible possible, le tirage le plus actif. Une machine construite étant donnée, le mécanicien qui la conduit doit apporter le plus grand soin à maintenir la vaporisation au degré d'activité convenable, et à maintenir la vapeur produite dans la chaudière à une tension aussi élevée que possible. C'est de l'ensemble de ces précautions que dépend le bon service de la machine. Si le mécanicien a laissé tomber la tension de la vapeur, au moment où la machine doit exercer un effort de traction considérable, il ne peut pas obtenir sur les pistons la pression nécessaire,

et de plus, la vapeur qui s'échappe, n'ayant qu'une faible tension, ne produit pas un tirage suffisant; par cela même que l'activité de la vaporisation est insuffisante, cette activité ne peut pas être augmentée, et souvent elle diminue. Un mécanicien, qui part avec un feu mal allumé, avec une tension insuffisante, ou qui néglige en route la conduite du feu et laisse baisser la pression, se trouve, en quelque sorte, enfermé dans un cercle vicieux, dont il ne peut que difficilement sortir. Le même effet se produit lorsque les dimensions de la chaudière sont trop faibles pour la capacité des cylindres, lorsque l'échappement est mal disposé ou lorsque le combustible est de mauvaise qualité.

Indépendamment des difficultés que présente la conduite de la machine, lorsque la tension de la vapeur ne peut pas être maintenue à un degré assez élevé, il y a tout avantage, dans les machines sans condensation, à dépenser la vapeur à haute pression; car l'effet utile d'un même poids de vapeur est d'autant plus considérable que la tension est plus élevée. Cela résulte de ce qu'il faut, de la pression absolue de la vapeur qui varie, retrancher une quantité constante qui représente la pression de l'atmosphère, et qui exerce une influence d'autant plus nuisible que la vapeur a une tension plus voisine de la pression atmosphérique. C'est ce qui résulte du tableau suivant dans lequel nous avons indiqué le travail qui peut être obtenu d'un kilogramme de vapeur, pour diverses pressions effectives, en recherchant quelle course peut effectuer un piston de diamètre constant sous l'action d'un poids constant de vapeur, et, par suite, le travail utile de la vapeur.

TABLEAU

DU TRAVAIL UTILE DE LA VAPEUR, A POIDS ÉGAL ET SOUS DIFFÉRENTES TENSIONS.

TENSION en atmosphères.	PRESSION effective.	VOLUME engendré par un kilogramme de vapeur.	COURSE du piston de diamètre constant. (*Rapport.*)	TRAVAIL utile de la vapeur. (*Rapport.*)
ath.	ath.			
1	0	1689,19	1,803	0
2	1	891,26	1,000	1,000
3	2	614,20	0,689	1,278
4	3	471,92	0,529	1,578
5	4	384,90	0,431	1,724
6	5	326,13	0,367	1,833
7	6	285,37	0,318	1,908
8	9	251,19	0,281	1,967

L'expérience a conduit à augmenter de plus en plus la tension de la vapeur dans les chaudières des machines locomotives ; on est passé successivement de 4ath et 4ath 1/2 à 5, 6, 7 et 8ath ; en Angleterrre, quelques ingénieurs paraissent même disposés à aller au delà.

3° Calcul de l'effet des machines locomotives.—Nous avons indiqué plus haut comment se calculait le travail utile de la vapeur dans les machines locomotives, lorsque la pression sur les deux faces du piston et le règlement de la distribution étaient connus.— Lorsque la machine travaille à pleine pression, c'est-à-dire lorsqu'on ne fait pas manœuvrer le régulateur, de manière à gêner le passage de la vapeur à sa sortie de la chaudière, afin de réduire la pression effective dans les cylindres, il existe encore une certaine différence entre la tension de la vapeur dans la chaudière et sa tension dans les cylindres. Cette différence dépend uniquement de la résistance due à l'écoulement du fluide à travers la conduite qu'il parcourt ; elle varie avec la dimension et la forme des tuyaux de prise de vapeur et des lumières, et des différents orifices intercalés sur le passage de la vapeur ; elle varie également avec la quantité

d'eau entraînée par la vapeur. Cette différence de pression ne peut être évaluée que par des expériences, qui malheureusement sont trop peu nombreuses pour que la question soit résolue au point de vue pratique. — On a cherché à établir un rapport entre la charge remorquée, la vitesse et la tension de la vapeur dans les cylindres ; le seul rapport à établir est celui que nous avons indiqué entre la tension dans la chaudière, ou mieux dans la boîte du tiroir, et la tension dans le cylindre. Il y a une certaine réduction opérée par le passage de la vapeur dans une conduite sinueuse et de forme tourmentée, qui peut varier avec la quantité de fluide à écouler dans un temps donné, mais qui varie surtout avec sa nature et sa densité. — Si la tension de la vapeur dans le cylindre est plus forte que ne le comporte la charge, la vitesse s'accélère jusqu'à ce que le travail, dû aux résistances de toute nature qui croissent très-rapidement avec la vitesse, soit égal au travail moteur de la vapeur. La théorie est extrêmement simple ; il ne manque que des faits bien constatés pour déterminer les coefficients pratiques qui doivent entrer dans les calculs numériques.

La résistance derrière le piston résulte de la contre-pression de la vapeur, qui ne peut pas s'échapper instantanément, dont la tension conserve, dès que la vitesse est un peu grande, une valeur supérieure à la pression de l'atmosphère, et qui dans aucun cas ne peut être inférieure à cette pression. Cet excès de tension de la vapeur qui s'échappe est dû au frottement de la vapeur dans les lumières et dans le tuyau d'échappement, et à la résistance des gaz chauds qu'elle entraine ; elle est d'autant plus grande qu'il y a nécessairement condensation de vapeur dans les cylindres, et, par suite, mélange d'eau et de vapeur, ce qui augmente les résistances à l'écoulement. La résistance de la vapeur derrière le piston ne peut être mesurée que par des recherches expérimentales.

Il faut tenir compte également des résistances créées par les frottements du mécanisme, par le roulement des roues sur les rails, par la résistance de l'air ; ces éléments ne peuvent être déterminés que par l'expérience. Nous indiquerons dans un chapitre spécial ce qui a été fait à ce sujet ; nous nous contentons ici de poser des principes.

LIVRE II.

DESCRIPTION DE LA MACHINE LOCOMOTIVE.

CHAPITRE I.

Aperçu général sur les divers systèmes de machines locomotives.

Nous avons, à la fin du livre précédent, indiqué les principes sur lesquels repose la construction de la machine locomotive; avant d'arriver à la description et à l'examen pratique de chacune des pièces, il nous reste à faire faire un pas de plus à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas déjà familiers avec le sujet que nous traitons. Nous avons à faire connaître plus en détail la disposition et la fonction des organes essentiels de la machine, à définir les éléments qui la composent, à tracer en quelque sorte un programme dans lequel viendront s'encadrer tous les faits dont la description forme l'objet du présent livre; nous avons en outre à jeter un coup d'œil sur les différents systèmes de machines en usage, sur les dispositions qui les caractérisent, sur l'usage auquel on les applique.

En procédant ainsi nous nous exposons à des redites inévitables, mais nous avons pensé que le meilleur moyen de faciliter l'étude d'une question de cette nature consistait à ne présenter que successivement les difficultés, plutôt que de les aborder immédiatement et dans leur ensemble.

§ 1er. — Description sommaire de la machine locomotive.

Une machine locomotive se compose de trois parties bien distinctes, *l'appareil de vaporisation* ou *la chaudière*, *l'appareil moteur* ou *le mécanisme*, *le véhicule* ou *le châssis et les supports.*

1° Appareil de vaporisation. — La chaudière se compose essentiellement d'un *foyer intérieur*, de *tubes à air chaud*, *d'une enveloppe extérieure* ou *chaudière proprement dite*, d'une *boîte à fumée* et de la *cheminée*; elle comprend en outre des pièces accessoires qui en font partie intégrante.

Le foyer (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 5, 6, 7 *et* 8) se compose d'une caisse renversée, de forme parallélipipédique, formée par l'assemblage de feuilles de cuivre; à la partie inférieure, il reçoit la *grille* qui supporte le *combustible;* l'une des parois, celle qui se trouve placée vers l'arrière de la machine, est percée d'une ouverture, fermée par une *porte*, qui sert à l'introduction du combustible; la paroi opposée, qui reçoit le nom de *plaque tubulaire*, est percée de trous dans lesquels s'engagent les tubes à air chaud, qu'on y fixe au moyen de *bagues* ou de *viroles*. Le *ciel* ou le *plafond* du foyer est soutenu par des *armatures* en fer qui l'empêchent de céder sous l'effet de l'énorme pression qu'il supporte. Les parois latérales sont reliées par une série d'*entretoises* avec l'enveloppe extérieure, et, par suite, mises en état de résister à la pression de la vapeur. — Le foyer intérieur reçoit encore le nom de *boîte à feu*.

L'enveloppe extérieure, ou la chaudière proprement dite, comprend la *boîte à feu extérieure* ou l'enveloppe extérieure du foyer; le *corps cylindrique*, ou l'enveloppe extérieure des tubes; et le *dôme de prise de vapeur* (*pl.* 5, 6, 7 et 8).

L'enveloppe extérieure du foyer épouse les formes de celui-ci dans sa partie moyenne et inférieure, et les parois correspondantes de l'une et de l'autre sont reliées par des *entretoises*; la partie supérieure se termine par une portion de cylindre qui se raccorde tangentiellement avec les deux parois latérales; souvent ce cylindre vient rencontrer, à angle droit, la face postérieure de l'enveloppe qui forme sa base géométrique, et se raccorde du côté opposé avec le corps cylindrique au moyen d'une pièce intermédiaire; souvent aussi les quatre parois latérales s'élèvent à une certaine hauteur au-dessus du plafond de la boite à feu, et se raccordent deux à deux avec des cylindres qui se pénètrent, suivant la forme géométrique dite en arc de cloître; dans ce dernier cas, le corps cylindri-

que pénètre la face antérieure de l'enveloppe extérieure, au-dessous du dôme à quatre pans formé par cette construction, et qui sert alors de récipient et de prise pour la vapeur ou de *dôme de prise de vapeur* (*fig.* 1, *pl.* 5).

L'enveloppe extérieure des tubes est un cylindre généralement à base circulaire, quelquefois à base elliptique ; elle est fermée, vers l'avant de la machine, par une seconde plaque tubulaire qui reçoit l'extrémité des tubes à air chaud opposée au foyer, et qui forme en même temps l'une des parois de la boîte à fumée. La plaque tubulaire de la boite à fumée, et celle du foyer, sont reliées par les tubes qui forment entretoises ; à la partie supérieure, la plaque tubulaire de la boite à fumée est entretoisée, par des *tirants* en fer, avec la face postérieure de la boite à feu extérieure. Toutes les parties de la chaudière sont donc combinées pour résister à la pression de la vapeur , soit parce qu'elles ont des formes cylindriques à base circulaire, soit parce qu'elles sont soutenues par des armatures et par des entretoises ou tirants.

Le dôme de prise de vapeur, lorsqu'il n'a pas la forme que nous avons indiquée plus haut, se compose d'un tronc de cylindre surmonté d'une calotte sphérique ; il est placé sur le corps cylindrique ou sur la portion de cylindre qui recouvre le foyer (*fig.* 1, *pl.* 6, *fig.* 1, *pl.* 7, *fig.* 3 *et* 4, *pl.* 15, *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 16). Quelques constructeurs placent à la fois deux dômes de prise de vapeur.

L'enveloppe extérieure est elle-même entourée d'une *enveloppe* en bois, recouverte de tôle, destinée à la préserver du refroidissement.

La boite à fumée reçoit les gaz chauds produits par la combustion et sert de raccordement entre les tubes, qu'ils traversent, et la cheminée par laquelle ils s'échappent ; la boite à fumée sert en outre à loger diverses pièces dont nous parlerons plus tard. Elle est garnie d'une porte qui sert pour le nettoyage des tubes, pour la pose et la réparation des tubes et de diverses autres pièces. Les règlements de police prescrivent d'intercaler sur le parcours des gaz chauds un treillis métallique qui arrête les fragments de coke

incandescent, qui peuvent être entraînés à l'extérieur et occasionner des incendies, soit sur le convoi lui-même, soit sur les talus et aux abords du chemin de fer ; la disposition la moins nuisible au tirage consiste à placer dans la boite à fumée, immédiatement au-dessus des tubes, une *grille* qui arrête les escarbilles. On pratique généralement sur le côté de la boite à fumée une ouverture fermée par un *registre*, que le mécanicien manœuvre pendant la marche pour régler le tirage. On pratique aussi, lorsque la disposition de la machine le permet, à la partie inférieure de la boîte à fumée, une petite ouverture fermée par une *porte*, pour faire sortir les cendres et les escarbilles qui ne tardent pas à s'y accumuler après un certain temps de service.

La cheminée se compose d'un cylindre en tôle (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 9), qui surmonte la boîte à fumée. On dispose généralement un *clapet* ou *capuchon* au moyen duquel on peut fermer la cheminée pour détruire le tirage pendant que la machine est en stationnement. Souvent on a placé, soit à la base, soit à la partie supérieure de la cheminée, le treillis métallique destiné à empêcher la projection des escarbilles.

Parmi les pièces accessoires qui dépendent de la chaudière, on doit distinguer le *tuyau de prise de vapeur*, qui conduit la vapeur aux cylindres ; le *régulateur*, qui est placé à l'origine du tuyau de prise de vapeur ou sur son parcours et qui sert à régler l'introduction de la vapeur dans les cylindres ; le *cendrier*, boite en tôle placée au-dessous du foyer pour retenir les escarbilles qui tombent à travers la grille, et souvent garnie sur le devant d'une porte à charnière ou d'un clapet, qui sert comme moyen supplémentaire pour régler le tirage ; les *soupapes de sûreté*, que l'on dispose au nombre de deux, pour donner issue à la vapeur lorsqu'elle est produite en quantité trop considérable, et qui sont chargées par l'intermédiaire d'un *levier*, au moyen de ressorts ou *balances* dont la tension est réglée à volonté ; le *tube indicateur de niveau d'eau* et les *robinets d'épreuve* qui servent à vérifier le niveau de l'eau dans la chaudière ; le *manomètre*, qui sert à mesurer la tension de la vapeur ; le *sifflet d'alarme*, dont

le mécanicien se sert pour commander la manœuvre des freins ou donner des signaux ; le *trou d'homme*, ouverture garnie d'une plaque en fonte à fermeture autoclave, et servant à la visite du régulateur ou des parties intérieures de la chaudière; les *robinets réchauffeurs*, qui servent à renvoyer dans le tender l'excès de vapeur formé pendant le stationnement ; les *robinets de vidange*, placés à la partie inférieure de la boîte à feu extérieure pour vider la chaudière; les tampons de lavage, placés comme les robinets de vidange, mais sur les angles de la boîte à feu extérieure, quelquefois sous la partie antérieure du corps cylindrique, pour l'enlèvement des dépôts sédimentaires et des incrustations.

Entre la chaudière et le mécanisme, on doit classer *l'appareil d'alimentation*, qui se compose de deux *pompes alimentaires* correspondant chacune à l'un des deux cylindres. Les pompes alimentaires se composent essentiellement d'un corps de pompe en fonte ou en bronze, dans lequel se meut un plongeur cylindrique commandé par la tête de la tige du piston (*fig.* 1, *pl.* 11, et *fig.* 1, 2, 3 *et* 4, *pl.* 12) ou par l'un des deux excentriques (*fig.* 4 *et* 5, *pl.* 11, et *fig.* 5, *pl.* 12). Le plongeur passe à travers un *presse-étoupe* ou *stuffing-box* qui ferme hermétiquement toute issue à l'eau. Au corps de pompe est attaché une boite à clapets, qui comprend un *clapet d'aspiration* et un *clapet de refoulement* dans la chaudière ; l'eau est amenée par un tuyau qui part du tender, elle passe par la *soupape* d'aspiration, en soulevant le clapet qui la ferme, elle remplit le corps de pompe à la suite du plongeur; elle est ensuite refoulée par celui-ci, passe à travers la *soupape de refoulement*, en soulevant son clapet, et est injectée dans la chaudière. Pour arrêter l'alimentation ou la régler à volonté, la pompe fonctionnant constamment tant que la machine est en mouvement, on place à l'origine du tuyau d'aspiration, dans le tender ou sur un point quelconque de son parcours, une soupape d'introduction ou un robinet que le mécanicien peut manœuvrer de sa place ; pour empêcher l'eau de la chaudière de s'échapper en cas de rupture de la pompe, on place sur le tuyau de refoulement, le plus près possible du point d'injection dans la chaudière, une *soupape* et un

clapet, ou un *robinet de retenue*. Sur la boîte à clapets, on dispose un petit *robinet d'essai* qui sert à vérifier si la pompe fonctionne utilement, ce que l'on reconnaît à l'émission saccadée d'un jet d'eau froide ou à la température du réservoir placé sur le tender : ce robinet sert encore à amorcer les pompes en donnant issue à l'air qui peut s'être accumulé dans les diverses parties de l'appareil. Les pompes alimentaires sont attachées invariablement au châssis qui supporte la chaudière et les pièces du mécanisme, ou à la chaudière elle-même.

2° Appareil moteur ou mécanisme. — Les cylindres sont en fonte, fermés à l'avant (1) par un *couvercle* ou *plateau* mobile, assujetti au moyen de boulons pris dans la masse et d'écrous, fermés à l'arrière par un *fond* fixe, et percé à son centre d'un trou qui livre passage à la tige du piston. Chaque cylindre est percé de deux *lumières* pour l'introduction et l'échappement alternatifs de la vapeur ; les orifices extérieurs de ces lumières viennent déboucher dans une capacité fermée qui est la *boîte du tiroir*, leurs orifices intérieurs sont placés aux deux extrémités du cylindre. Entre les deux lumières d'admission est placée la *lumière d'échappement*, qui se trouve, comme nous l'avons déjà dit, constamment recouverte par le tiroir et qui communique avec le *tuyau d'échappement*. Le *piston* se compose essentiellement de deux plateaux enfilés sur l'extrémité de la *tige* et comprenant entre eux la *garniture* qui empêche la vapeur de passer dans le cylindre d'un côté à l'autre et qui assure par conséquent le jeu de la machine. Cette garniture se compose d'anneaux en fonte ou en bronze, entiers ou formés de plusieurs fragments, mais coupés au moins sur un point de leur circonférence ; ces pièces, auxquelles on donne le nom de *segments*, sont au nombre de deux au moins, dont les joints se recouvrent ; leur élasticité propre ou l'action de ressorts intérieurs les maintient constamment appliqués contre les parois du cylindre,

---

(1) Les expressions *avant*, *arrière*, *antérieur*, *postérieur*, se rapportent toujours au sens habituel de la marche de la machine ; l'avant d'une pièce es la partie qui est du côté de l'avant de la machine.

lesquelles sont alésées avec le plus grand soin (*fig*. 3, 4, 5, 12, *pl*. 20).

La tige du piston traverse le fond du cylindre et passe à travers un *presse-étoupe* ou *stuffing-box* qui ferme toute issue à la vapeur, sans faire sensiblement obstacle au mouvement alternatif de la tige du piston. La *tête* de la tige du piston, que l'on nomme aussi *crosse* ou *coquille*, se compose d'un bloc de métal armé de deux patins qui portent sur les *glissières*, pièces reliées fortement au châssis et qui servent à guider la tige du piston ; elle reçoit la *petite tête* de la *bielle motrice*, pièce en fer forgé qui transmet le mouvement rectiligne alternatif du piston à la *manivelle* de l'*essieu moteur ;* dans les machines où les pompes alimentaires sont commandées directement par le piston, elle reçoit également l'extrémité du plongeur qu'elle entraîne avec elle.

La bielle motrice agit dans certaines machines sur une manivelle formée par un coude de l'essieu des *roues motrices,* dans d'autres machines sur un *bouton de manivelle* fixé sur un renflement du moyeu de chacune des roues motrices. Le premier cas a lieu pour les machines dont les cylindres sont compris à l'intérieur des roues, le second pour les machines dont les cylindres sont placés extérieurement. Le mouvement du piston, ainsi que nous l'avons déjà expliqué, imprime à l'essieu moteur un mouvement de rotation continu ; lorsque l'adhérence est suffisante, l'essieu étant emprisonné par ses extrémités dans des colliers attachés au châssis qui supporte toute la machine, les roues, en se développant sur le rail, déplacent leur essieu, et celui-ci entraîne le châssis, la machine qu'il porte et le convoi accroché à la machine.

L'essieu moteur porte, pour chaque cylindre, deux *excentriques*, dont la fonction et la disposition a déjà été indiquée ; les *colliers d'excentriques* qui les enveloppent portent les *barres d'excentriques* qui transmettent le mouvement de l'essieu aux tiroirs, en le transformant en mouvement alternatif. Dans les anciennes machines, chaque barre d'excentrique recevait à son extrémité un V ou *pied de biche*, assez ouvert pour embrasser, dans toutes les positions possibles, le *bouton* placé à l'extrémité inférieure du levier de dis-

tribution ; les deux barres d'excentriques étaient liées entre elles par une entretoise articulée, et pouvaient être abaissées ou relevées au moyen de l'*appareil de changement de marche*, de telle sorte que le mécanicien pouvait, à volonté et à coup sûr, embrayer pendant la marche le levier de distribution avec l'un ou l'autre des excentriques et faire marcher la machine en avant ou en arrière ; l'une des deux branches du pied de biche venait s'appuyer sur le bouton du levier de distribution et déplaçait le tiroir jusqu'à ce qu'il occupât la position correspondant à celle de l'excentrique embrayé ; le bouton était alors logé au fond du V qui entraînait les pièces de la distribution dans son mouvement alternatif. Dans la plupart des machines que l'on construit actuellement, on réunit les extrémités des deux barres d'excentriques par une *coulisse* disposée en arc de cercle, dans laquelle se trouve engagée à frottement doux la tête de la tige du tiroir ; cette coulisse, que le levier de changement de marche fait monter ou descendre, par rapport au bouton de la tige du tiroir, sert à changer la marche, et est en outre appliquée à produire la détente variable ; elle porte le nom du célèbre ingénieur Stephenson, qui le premier l'a introduite dans la construction des machines locomotives.

Dans les anciennes machines, le *levier de distribution* qui ramène le mouvement de l'excentrique à la hauteur du tiroir superposé au cylindre, commande une petite *bielle*, dont l'extrémité agit à son tour sur la *tige du tiroir*, celle-ci pénétrant, dans tous les cas possibles, dans la boîte à tiroir au moyen d'un *presse-étoupe* ou *stuffing box*, qui intercepte le passage de la vapeur ; la tige du tiroir se termine généralement par un *cadre* qui embrasse exactement le tiroir et lui communique le mouvement de va et vient du système.

L'appareil de changement de marche se compose essentiellement d'un *levier* placé à la main du mécanicien, d'une barre qui renvoie l'action des leviers vers la région du mécanisme, d'un *arbre de changement de marche* qui porte trois leviers, l'un attaché à l'extrémité de la barre du levier du mécanicien, les deux autres reliés chacun par une bielle articulée à ses deux extrémités, avec le système des deux pieds de biche de chaque tiroir, ou avec la coulisse qui le remplace.

Les différentes pièces du mécanisme sont pourvues de *godets*, de *trous*, de *rainures*, disposés pour faciliter le graissage ; ces dispositions sont combinées de telle sorte que l'huile n'arrive que successivement sur les parties en contact et soumises au frottement, de telle sorte qu'il ne soit nécessaire de renouveler l'huile ou de graisser qu'à des intervalles de temps assez éloignés, correspondant à des parcours de 30 à 50 kilomètres. On s'est servi de boîtes à l'huile pourvues d'un jeu de petits tuyaux et de robinets qui distribuaient l'huile goutte à goute sur chacune des pièces à lubréfier ; cette disposition ne s'est pas généralisée, et on se sert le plus souvent de godets rapportés sur les pièces ou venus de masse, dans l'axe desquels un petit tube cylindrique, formant réservoir annulaire, reçoit une mèche de coton dont l'extrémité plonge dans l'huile et qui fait siphon.

Nous avons eu l'occasion de parler du tuyau d'échappement sans nous y arrêter spécialement ; cet organe essentiel se rattache à la fois au mouvement et à la vaporisation, car il sert, d'une part, à évacuer la vapeur qui a fonctionné dans les cylindres ; de l'autre, il est l'élément principal du tirage et de la production de vapeur. Le cylindre porte une tubulure qui forme l'orifice extérieur de la lumière d'échappement ; c'est sur cette tubulure que s'attache la base du tuyau d'échappement. Certains constructeurs réunissent, immédiatement après la sortie des cylindres, les deux tuyaux d'échappement en un seul tuyau qui monte au milieu de la boîte à fumée, jusqu'à la base de la cheminée ; d'autres préfèrent laisser les deux échappements distincts jusque vers l'origine de la cheminée, où ils se réunissent pour n'avoir plus qu'un orifice commun. Maintenant on rend presque toujours *l'échappement variable*, en disposant l'orifice de manière à faire varier à volonté sa section ; la vitesse d'écoulement de la vapeur dans la cheminée étant d'autant moins considérable que l'orifice d'échappement est plus grand, le tirage peut varier à volonté dans certaines limites. C'est là un des éléments les plus importants de la conduite de la machine. En élargissant l'orifice du tuyau d'échappement, lorsque la vaporisation est suffisamment active, on diminue la résistance à l'écoulement de la vapeur, par suite on ré-

duit la contre-pression et on augmente l'effet utile de la vapeur, la puissance et la vitesse de la machine.

3° Chassis et supports. — Le *châssis* ou *bâti* de la machine est un cadre composé de deux brancards ou *longerons* et de deux *traverses*. Les longerons sont en fer plat posé de champ ou en bois armé de tôle ; la chaudière s'y trouve fixée, sa boite à feu extérieure par des boulons ou des rivets, son corps cylindrique par des *supports* qui rachètent l'écartement existant entre ces deux parties, la boite à fumée et les cylindres par des boulons. La *traverse d'avant* et la *traverse d'arrière* sont en bois, elles relient les extrémités des longerons et complètent le cadre, en même temps qu'elles servent d'attache, l'une au *crochet de traction* placé à l'avant, l'autre à la *barre d'attelage* et aux chaines de sûreté qui relient le tender à la machine. Le châssis porte une *plate-forme* qui règne tout autour de la machine, ou seulement à l'arrière, à l'endroit où se tient le mécanicien pour manœuvrer le régulateur, le levier de changement de marche, les robinets d'épreuve, etc. ; à l'arrière, la plate-forme est surmontée d'une *rampe* ou *garde-corps* pour la sûreté du mécanicien et du chauffeur, et des personnes qui se placent accidentellement à leurs côtés.

Le châssis et toute la machine à laquelle il sert de base, est porté par les *roues* dont le nombre varie, par paires de quatre à huit. Les roues sont montées deux à deux sur un *essieu* en fer forgé avec lequel elles sont solidaires ; l'essieu porte extérieurement si le châssis est *extérieur*, intérieurement s'il est *intérieur*, des collets ou *fusées* parfaitement tournés et cintrés, sur lesquels reposent des *coussinets* en bronze ou autre alliage équivalent, enfermés eux-mêmes dans une sorte de palier indépendant qui porte le nom de *boîte à graisse ;* pendant le mouvement, la fusée tourne sur le coussinet et est constamment lubréfiée par l'huile ou par la graisse approvisionnée dans une cavité disposée à cet effet à la partie supérieure de la boite à graisse. Celle-ci supporte le poids de la partie correspondante de la machine, par l'intermédiaire d'un *ressort* en acier attaché au longeron ; elle est du reste encastrée entre des *plaques*

de garde, appendices en tôle, fixées invariablement au longeron, qui la rendent solidaire avec l'ensemble de la machine, tout en permettant le mouvement vertical, correspondant au jeu des ressorts qui oscillent sous le poids de la machine et sous l'action des chocs résultant des inégalités de la voie. — Les fusées de l'essieu moteur réagissent, par l'intermédiaire des boites à graisses, sur les plaques de garde, pour entrainer la machine ; celles des autres roues sont au contraire entrainées par le châssis et roulent pour obéir au mouvement de translation de la machine qu'elles supportent.

Une roue se compose d'un *moyeu* en fonte, quelquefois en fer forgé, de *rais* en fer, d'une *jante* ou cercle intérieur, quelquefois rapporté, souvent formé par la réunion, par voie de soudure, des appendices fixés à l'extrémité des rais en forme de T, et enfin d'un *bandage* ou cercle en fer garni d'un *mentonnet* ou *boudin* dont la saillie a pour objet d'empêcher la machine de dévier de la direction de la voie pendant la marche.

Lorsque l'adhérence résultant du frottement dû au poids total des roues motrices et de la charge qu'elles supportent, n'est pas suffisante pour empêcher les roues de tourner sur place ou de *patiner*, on *accouple*, avec les roues motrices, les roues d'avant ou celles d'arrière, et souvent même les unes et les autres. Les *roues accouplées* doivent avoir un diamètre exactement égal à celui des roues motrices ; elles portent au moyeu un renflement qui reçoit un *bouton de manivelle*, également distant du centre de l'essieu sur chaque roue ; les boutons de manivelle reçoivent chacun la tête d'une barre ou *bielle d'accouplement*. Lorsque les machines sont à cylindres extérieurs, les bielles d'accouplement sont fixées sur les roues motrices au bouton qui reçoit déjà la bielle motrice, et qu'on allonge à cet effet.

La machine porte sur la traverse d'avant des *tampons de choc*, composés de matières élastiques, sur la traverse d'arrière des *tampons* en bois qui maintiennent l'*écartement* du tender.

Les détails contenus dans cette première section donnent le nom et la définition, et indiquent la fonction des différentes pièces qui entrent dans la construction d'une machine locomotive ; ils forment

en quelque sorte le programme des chapitres suivants, dans lesquels nous indiquerons la forme, les dimensions, la nature, le mode de construction de chacune de ces pièces, en exposant, d'une manière plus complète, les services qu'elles rendent dans l'ensemble du mécanisme. Nous avons pris pour point de départ plusieurs types de machines différents ; lorsque les pièces présentent des différences notables de l'un à l'autre, nous en donnons la description et la figure pour chacun de ces types, en discutant les avantages et les inconvénients de chaque système ; nous aurons soin du reste de signaler toutes les dispositions qui, en dehors de ces types, méritent de fixer l'attention.

§ 2. — Classification des machines.

1° Classification basée sur la nature du service. — Les *machines à voyageurs*, sont celles que l'on affecte exclusivement au transport des voyageurs et de tous les accessoires du service de la grande vitesse ; elles marchent à une vitesse d'au moins 40 kilomètres à l'heure, et sur certains chemins elles atteignent, dans les circonstances régulières du service, une vitesse de 80 à 100 kilomètres. Elles ont des roues motrices d'un diamètre d'autant plus grand que le service qu'elles doivent effectuer exige une plus grande célérité ; la course du piston est restreinte relativement au diamètre des roues, de telle sorte que, pour un mouvement de translation très-rapide, les oscillations des pièces du mécanisme ne soient pas répétées un trop grand nombre de fois dans l'unité de temps, et n'aient pas lieu avec une vitesse trop considérable qui deviendrait nuisible à leur conservation. Dans ces machines les roues motrices sont indépendantes des autres roues, leur diamètre varie de $1^m\,68$ à $2^m\,10$, et va même quelquefois au delà. La charge doit varier avec la vitesse qui fait croître les résistances de toute nature suivant une progression très-rapide. Si l'on augmente le diamètre des roues suivant la vitesse de translation que l'on veut obtenir, de manière à n'augmenter ni la course du piston, ni la fréquence de ses oscillations, ni la surface de chauffe qui est en rapport intime avec ces derniers éléments, il est évident que, le travail moteur de la vapeur

sur les pistons restant constamment le même, il faudra, pour rester dans les mêmes conditions de travail résistant, diminuer le poids total à remorquer proportionnellement à l'accroissement des coefficients de résistance. La charge ordinaire des machines à voyageurs actuelles, sur un chemin à rampes de 5 m/m par mètre, doit être limitée à 14 ou 15 voitures de voyageurs et wagons de service à quatre roues, de dimension ordinaire, lorsque la vitesse de marche varie entre 40 à 50 kilomètres à l'heure. Lorsqu'on atteint des vitesses de 80 à 100 kilomètres à l'heure, avec les machines spéciales que l'on construit à cet effet, le nombre des véhicules remorqués sur le même chemin doit être limité à 6 ou 7 si l'on veut obtenir une marche régulière.

Les *machines à marchandises* sont disposées pour remorquer de très-fortes charges à petite vitesse ; elles ont des roues d'un petit diamètre, variant de 1m 20 à 1m 50, des cylindres d'une longue course ; les roues motrices sont accouplées avec une ou deux autres paires de roues. — Ces machines, pour rester dans de bonnes conditions, doivent marcher à des vitesses comprises entre 20 et 30 kilomètres à l'heure ; elles ne doivent dépasser la limite supérieure qu'accidentellement et lorsque les roues ont le diamètre maximum de 1m 50. Dans les conditions de tracé et de vitesse que nous venons d'indiquer, ces machines remorquent, suivant le poids total des véhicules, trente à quarante wagons de marchandises chargés.

Les *machines mixtes* sont devenues d'un usage assez fréquent dans ces derniers temps. Elles sont, comme dimension relative de leurs organes et comme condition de service, dans une situation intermédiaire entre les deux autres catégories. Elles ont une paire de roues accouplées avec les roues motrices, des courses de piston assez grandes, des roues motrices de 1m 50 à 1m 60 de diamètre ; elles travaillent à des vitesses de marche qui doivent rester comprises entre 35 et 45 kilomètres, avec écart accidentel jusqu'à 50 kilomètres à l'heure ; elles remorquent facilement sur un profil à rampes de 5 m/m des trains de 20 véhicules, wagons de marchandises et voitures de voyageurs. Ces machines doivent être employées d'une manière à peu près exclusive, pour le service des

voyageurs, sur les chemins ou sur les sections de chemins de fer, dont le profil normal comporte des rampes d'une inclinaison supérieure à 5 m/m par mètre.

On construit encore, dans quelques cas spéciaux, des machines qui portent leur eau et leur coke, et qui par suite n'ont pas de *tender* ; on les applique à la composition et à la décomposition des trains dans les gares de marchandises ; on les appliquerait avec succès comme machines de renfort sur les plans inclinés à forte pente ; dans ces deux cas elles doivent avoir 6 roues accouplées, d'un petit diamètre, et une grande course de piston, pour démarrer et trainer des charges considérables ou gravir de fortes rampes ; on les applique avec succès, en conservant les roues motrices indépendantes, à des services de voyageurs à petit parcours, dans la banlieue des grandes villes, par exemple, toutes les fois que le trajet peut être effectué avec une faible provision d'eau et de coke ; il y a même lieu de croire que dans beaucoup de cas on pourra utilement en généraliser l'usage. On a construit en Angleterre, pour le service de quelques embranchements, des voitures à voyageurs qui portent leur machine et qui circulent isolément.

2° Classification basée sur la disposition des cylindres. — Les *machines à cylindres intérieurs* ont leurs cylindres compris entre les deux roues d'un même essieu, et par conséquent entre les rails de la voie ; l'essieu des roues motrices est deux fois coudé en forme de manivelle. Les machines de cette catégorie ont naturellement plus de stabilité, un mouvement plus régulier et plus tranquille que celles de la catégorie suivante.

Les *machines à cylindres extérieurs* ont leurs cylindres placés en dehors du bâti et en surplomb à l'extérieur de la voie. Elles sont avantageuses par la simplicité de leur construction et par la suppression de l'essieu coudé, mais elles sont assujetties à certaines conditions d'instabilité que nous examinerons plus loin. Si la stabilité ne pouvait pas être obtenue par l'application d'un correctif simple et efficace, elles auraient à ce point de vue une infériorité marquée à l'égard des machines à cylindres intérieurs. Dans

l'état actuel des choses, les avantages et les inconvénients de nature diverse se balancent sensiblement dans ces deux systèmes de machines.

On a construit exceptionnellement des machines ayant plus de deux cylindres ; Stephenson a imaginé et réalisé la construction d'une *machine à trois cylindres* dont un intérieur et deux extérieurs, ces deux derniers ayant leurs manivelles parallèles et tournées dans un même sens perpendiculaire à la manivelle du premier, celui-ci étant équivalent, pour le travail développé sur le piston, à la somme des deux autres.

M. Verpilleux, de Rive-de-Gier, a construit, pour le service spécial de la remonte des wagons à houille sur le chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon, des *machines à quatre cylindres*, portant deux cylindres supplémentaires sur le tender, pour utiliser, au point de vue de l'adhérence, le poids de ce véhicule.

On peut encore distinguer les machines, en *machines à cylindres horizontaux* et à *cylindres inclinés*, suivant la position que les convenances de la construction conduisent à donner à ces organes.

3° Classification basée sur le nombre des roues. — Les premières machines n'avaient que quatre roues comprises entre la boîte à feu et la boîte à fumée. A la suite de plusieurs accidents et notamment de l'accident du 8 mai 1842 (rive gauche), on s'est effrayé des dangers que présentaient les *machines à quatre roues*, et l'usage des *machines à six roues*, que plusieurs constructeurs avaient déjà adoptées, dans le but de pouvoir proportionner les dimensions de l'appareil à la puissance de plus en plus grande qu'il fallait obtenir, est devenu général. Cette disposition a permis d'augmenter le poids des machines, sans augmenter la fatigue des rails. Maintenant que le poids des rails a été augmenté et que la fabrication des essieux a été perfectionnée, en même temps que l'expérience a conduit les constructeurs à leur donner des dimensions plus fortes, on reviendra peut-être dans quelques cas à l'usage des machines à quatre roues ; sur plusieurs chemins, du reste, les machines n'ont une troisième paire de roues que pour la forme,

toute la charge étant exclusivement portée sur les roues motrices et sur les roues d'avant.

En Amérique, l'avant des machines est supporté par un train de quatre roues de petit diamètre, mobile autour d'une cheville ouvrière pour faciliter le passage dans les courbes de petit rayon ; lorsqu'elles sont destinées au transport des marchandises, on leur applique une seconde paire de roues motrices que l'on accouple avec celles qui reçoivent l'action du piston. Ces machines deviennent des *machines à huit roues.* Dans quelques circonstances exceptionnelles, on a ajouté une quatrième paire de roues aux machines ordinaires à six roues, en maintenant le parallélisme des essieux.

CHAPITRE II.

Appareil de Vaporisation.

On a vu dans l'introduction qu'en 1829, à l'époque du concours ouvert sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, les conditions de vaporisation avaient été améliorées d'une manière fondamentale par l'emploi des tubes de petit diamètre, et par l'injection de la vapeur dans la cheminée. Les efforts des constructeurs ont eu pour but unique, depuis cette époque, d'obtenir de ces dispositions le maximum d'effet utile. En 1832, R. Stephenson portait déjà le nombre des tubes à 82, en réduisant leur diamètre à 0^{m} 038; plus tard il faisait reposer la machine sur 6 roues, dont deux étaient placées en arrière du foyer ; en augmentant le nombre des points d'appui, il augmentait les dimensions de la chaudière, y plaçait 111 tubes et portait la surface de chauffe totale de 22 ^{mq} 1/2 à 52 ^{mq}.

Sharp et Roberts suivent R. Stephenson et deviennent promptement ses émules ; ils adoptent également un type spécial de machines à 6 roues, portent le nombre de tubes à 162 et obtiennent

une surface de chauffe totale de 58 mq. Les nécessités toujours croissantes du trafic qui réclame une augmentation de vitesse et de puissance, la lutte qui s'engage entre la large voie et la petite voie, entre Brunel et Stephenson, conduit ce dernier, en 1842, à faire un nouveau pas dans la voie d'accroissement des surfaces de chauffe ; tout en maintenant le même écartement pour les essieux extrêmes, ce que rend nécessaire la dimension des plaques tournantes, il reporte le foyer au delà du troisième essieu et augmente d'une quantité correspondante la longueur de la chaudière; les tubes atteignent une longueur totale de 3^{mq} 80, et la surface de chauffe devient égale à 66^{mq}; ce dernier élément arrive successivement à la limite de 70^{mq} et même 95^{mq} lorsque la dimension des plaques tournantes le permet.

Sharp et Roberts, qui persistent toujours dans le même type, augmentent la surface de chauffe en s'attachant surtout à augmenter le diamètre de la chaudière et le nombre des tubes ; ils atteignent, pour les plus grands écartements d'essieux extrêmes que comportent les plaques tournantes, la limite de 96^{mq}.

En 1846, un pas nouveau dans l'augmentation des surfaces de chauffe est fait par M. Crampton, qui porte l'écartement des essieux extrêmes à 4^{m} 86, en plaçant l'essieu extrême en arrière du foyer; il augmente dans une proportion considérable la surface de chauffe directe dans le foyer, qui est la plus utile, en même temps qu'il porte le nombre des tubes à 178, et arrive ainsi à obtenir une surface de chauffe totale de 102^{mq}. On a cherché également à augmenter la surface de chauffe du foyer en y plaçant un bouilleur qui est enveloppé par le combustible ; mais cette disposition exige déjà des foyers très-grands par eux-mêmes.

Les constructeurs et les ingénieurs préposés à l'entretien du matériel des chemins de fer se sont également préoccupés des moyens d'améliorer les conditions du tirage, en cherchant en même temps à décharger, autant que possible, les pistons de la contrepression de la vapeur ; on s'est attaché à rendre aussi direct que possible le trajet à effectuer par la vapeur, depuis la lumière jusqu'à l'orifice d'échappement ; mais le seul progrès essentiel qui

ait été accompli dans cette direction est l'adoption de l'*échappement variable*. La première idée de ce perfectionnement doit être attribuée à M. de Pambour, qui la fit appliquer en 1836 sur le chemin de fer de Liverpool à Manchester, dans le but de mesurer l'influence du tuyau d'échappement sur la résistance de la vapeur derrière le piston, et qui en conseilla l'emploi dans le service régulier des machines. Cette disposition ne fut appliquée que vers l'année 1842, sur le chemin de fer d'Alsace, où elle fut perfectionnée, et d'où son usage s'est répandu promptement sur la plupart des autres chemins de fer français ; elle a été importée en Allemagne par des machines de construction française, mais il ne semble pas qu'elle se soit propagée en Angleterre où la bonne qualité du combustible la rend moins utile.

Les pompes alimentaires n'ont reçu que des perfectionnements de détail ; vers 1842, Stephenson imagina de les mettre en mouvement au moyen de l'excentrique de la marche en arrière ; mais cette disposition n'a pas prévalu d'une manière générale ; beaucoup de constructeurs continuent à prendre le mouvement sur la tête de la tige du piston. Dans les machines de Crampton, la tige de la pompe alimentaire n'est autre chose que le prolongement de la tige du piston.

§ 1er. — Foyer.

1° Boite a feu. — La partie du foyer qui reçoit le combustible et à laquelle nous affecterons spécialement le nom de *boîte à feu*, a la forme d'une caisse parallélipipédique renversée, ou présentant son ouverture par le bas ; elle est construite le plus généralement en cuivre rouge de première qualité ; quelques constructeurs ont employé le fer, mais ce métal s'altère trop facilement au contact d'une masse de combustible brûlant à une température très-élevée, et surtout par l'action de l'eau dont les suintements déterminent une prompte oxidation. Le cuivre rouge, au contraire, ne s'use que lentement et sans perdre sa ductilité et sa ténacité ; il est, en un mot, d'un emploi plus sûr et peut-être moins coûteux au point de vue des réparations, si l'on tient compte de la valeur intrinsèque des vieilles matières.

Quelques constructeurs ont employé la forme demi-cylindrique pour les foyers, mais leur système n'a pas prévalu et il est surtout inapplicable depuis que l'expérience a démontré la nécessité d'obtenir des surfaces de chauffe très-considérables.

La figure 1, pl. 5, représente la boite à feu des machines du chemin de fer du Nord, établies en 1846 d'après les plans de Stephenson. Une seule feuille de cuivre de 0^m 010 à 0^m 012 d'épaisseur forme le *ciel* ou plafond et les *parois latérales* ; deux autres feuilles, de même épaisseur, dont les rebords sont pliés en forme de cornière, forment l'une la *paroi antérieure* ou la *plaque tubulaire* qui reçoit les tubes, l'autre la *paroi postérieure* dans laquelle est percée la porte du foyer. Ces trois plaques doivent être assemblées entre elles au moyen de rivets en cuivre ou en fer.

La plaque tubulaire est renflée à l'endroit où elle reçoit les tubes et son épaisseur atteint 0^m 025 ; cette disposition est nécessaire pour donner à l'assemblage des tubes, qui est fait par pression et frottement, une base suffisante.

Les parois verticales de la boite à feu sont percées de trous taraudés, distribués symétriquement sur toute leur surface, la partie qui reçoit les tubes exceptée ; ces trous reçoivent l'extrémité des *entretoises* destinées à relier les parois du foyer avec l'enveloppe extérieure. Ces entretoises sont filetées sur toute leur longueur et par conséquent assemblées à vis avec la boite à feu et avec son enveloppe extérieure, qui reçoit, par analogie de position, le nom de *boîte à feu extérieure;* elles sont, en outre, rivées à l'intérieur et à l'extérieur pour compléter la résistance à la pression de la vapeur. Elles doivent être en cuivre rouge ; lorsqu'elles sont en fer, elles peuvent se détruire avec une grande rapidité, sans qu'il soit possible de s'en assurer autrement qu'en démontant le foyer. Le matage des entretoises doit se faire avec un grand soin pour ne pas ébranler celles qui sont déjà placées, pour ne pas altérer les filets et ne pas produire un écrouissage qui pourrait faire sauter les têtes sous l'effort d'une pression élevée.

Le plafond est soutenu par de fortes *armatures* en fer forgé,

disposées dans le sens de la longueur de la machine, qui viennent s'appuyer sur la tranche des parois verticales ; de forts boulons en cuivre, vissés comme les entretoises dans la feuille de cuivre qu'ils traversent, rattachent le ciel du foyer à ces armatures, qui supportent, en définitive, l'effort dû à la pression de la vapeur. — Dans les anciennes machines, qui n'étaient pas destinées, du reste, à fonctionner à des pressions considérables, on a souvent négligé de donner aux armatures une longueur suffisante et il en est résulté des explosions.—Les armatures sont disposées de manière à laisser circuler l'eau entre leur surface inférieure et le ciel de la boite à feu ; les trous qui laissent passer les boulons dans le corps de l'armature, correspondent à des renflements calculés de manière à donner au métal une épaisseur constante, et à ne pas l'affaiblir dans les points mêmes où l'effort dû à la pression s'exerce.— Les armatures doivent affecter la figure d'un solide qui repose sur deux appuis et qui doit présenter, en tous ses points, une égale résistance à la rupture, car les boulons qui viennent s'y rattacher doivent supporter chacun une part égale de la pression totale exercée sur le ciel de la boite à feu.

Les armatures étant espacées, d'axe en axe, de 0^{m} 10, et leurs boulons étant à la même distance entre eux, chaque boulon doit, pour une tension de 7^{ath} ou une pression effective de 6^{ath}, supporter un effort de 620^{kg}, et chaque armature un effort total de $6{,}200^{kg}$. On peut déterminer, par le calcul, la dimension qu'il convient de donner aux armatures et aux boulons ; mais il convient, dans la pratique, de se maintenir beaucoup au-dessus des limites indiquées par le calcul, surtout pour des pièces de forge assez difficiles à travailler qui peuvent présenter des défauts de soudure ou de résistance. Comme exemple, nous citerons les armatures de la boite à feu du chemin de fer du Nord qui ont, au sommet, 0^{m} 105 de hauteur et 0^{m} 034 d'épaisseur.

A la porte du foyer, la jonction entre la paroi de la boite à feu et l'enveloppe extérieure s'opère au moyen d'un anneau en fonte, fixé au moyen d'entretoises en fer fortement rivées à l'intérieur et à l'extérieur. A la partie inférieure, un cadre en bronze, en

fer forgé ou en tôle emboutie, complète la fermeture de l'espace réservé à l'eau et à la vapeur.

Les dispositions de détail varient quelquefois d'un constructeur à l'autre, mais les différences ne sont jamais essentielles, ainsi qu'on pourra en juger par l'examen des figures ci-jointes :

Machines du chemin de fer de Paris à Rouen et d'Orléans à Bordeaux, constructeur Buddicom ; fig. 1, pl. 56, coupe longitudinale ; fig. 1, pl. 7, et fig. 2, pl. 56, coupe transversale.

Machines de Crampton, constructeur Cail, fig, 1, pl. 8, coupe transversale ; fig. 2, pl. 8, coupe longitudinale.

Machines mixtes à cylindres intérieurs du chemin de fer de Lyon, constructeur E. Gouin, fig. 2 et 3, pl. 5, coupe transversale et longitudinale du foyer ; fig. 1, pl. 64, coupe longitudinale.

Machines à marchandises du chemin de fer d'Orléans, constructeur C. Polonceau ; fig. 2, pl. 7, coupe transversale, fig. 3, pl. 7, coupe longitudinale.

On remarquera que dans les machines mixtes du chemin de fer de Lyon, construites par M. E. Gouin, sur les modèles de Sharp frères, on a complété la consolidation du ciel de la boite à feu, au moyen de tirants qui réunissent deux des armatures à la partie supérieure de la chaudière ; on peut remarquer également que quelques constructeurs ont substitué, aux armatures en fer forgé d'une seule pièce, des moises en tôle formées de deux feuilles placées de champ et assemblées au moyen de rivets enveloppés d'anneaux destinés à empêcher le rapprochement. Les armatures des machines Crampton, dont la longueur est de 1^{m} 35, sont formées de deux feuilles de 0^{m} 010 d'épaisseur sur 0^{m} 180 de hauteur au sommet.

Les entretoises qui rattachent la boite à feu à son enveloppe sont généralement en cuivre et rivées ; certains constructeurs, pour rendre plus facile le démontage et la réparation de la boite à feu, ont ajusté, sur les extrémités des entretoises, des écrous qui remplacent la rivure.

Les différences les plus saillantes dans la construction du foyer, se remarquent dans la disposition de la pièce qui raccorde le

bord inférieur de la boite à feu avec l'enveloppe. On a d'abord réuni directement les deux surfaces en étirant sous l'action du marteau les feuilles de cuivre qui composent la boite à feu, et en rivant leur bord sur celui de l'enveloppe extérieure; mais cette disposition a l'inconvénient de rendre le nettoyage plus difficile et de réduire la profondeur du foyer. On s'est également servi de deux cornières en fer rivées ensemble de manière à former une double cornière en forme de Z. On a fait fréquemment usage de cornières en bronze ou en cuivre coulées d'une seule pièce, qui, bien que coûteuses de matière, sont avantageuses pour la pose et la conservation ; mais elles se brisent facilement dans les angles ; elles ont la forme d'un Z, comme dans les machines du Nord et de Lyon, fig. 1, 2 et 3, pl. 6, ou d'une gouttière rectangulaire, comme dans les machines de Buddicom, fig. 1, pl. 7. Maintenant on fait usage d'un cadre en fer forgé, fig. 2 et 3, pl. 7, analogue à celui qui forme le joint à la porte du foyer; on le fixe entre les deux parois au moyen de deux lignes de rivets étagées en diagonales. Nous signalerons enfin une dernière disposition, d'application récente, et qui paraît destinée à remplacer les autres, elle consiste à remplacer la double cornière en fer ou le cadre en bronze, par une tôle emboutie.

Nous ajouterons que, pour arriver à donner à la surface de chauffe la plus grande dimension possible, soit en augmentant le développement des surfaces en rapport direct avec le combustible, soit en augmentant le nombre des tubes, on a été souvent conduit à évaser la partie supérieure de la boite à feu, autant que le permettait la largeur de l'enveloppe extérieure, fig. 2, pl. 5. Quelques constructeurs ont disposé, soit en travers de la boite à feu, soit dans le sens longitudinal, un *bouilleur* en forme de tuyau aplati, de 0^m 10 de largeur sur 0^m 40 de hauteur moyenne, montant jusqu'à la hauteur de la porte. La partie du foyer qui reçoit le combustible se trouve donc partagée en deux parties, séparées par une cloison pleine d'eau. On obtient ainsi environ 1^{mq} de surface de chauffe directe, mais la conduite du feu devient plus difficile, les parois du bouilleur et celles de la boite à feu elle-même, aux points

de raccordement se suréchauffent et, en somme, éprouvent des dégradations qui rendent l'entretien difficile. L'utilité de ces bouilleurs serait incontestable, si leur construction pouvait être mise à l'abri des inconvénients qui viennent d'être signalés.

2° Grille. — La grille est destinée à soutenir le combustible, tout en ménageant l'accès à l'air nécessaire à la combustion. Elle se compose de *barreaux* et d'un *cadre* ou support. La surface de la grille, qui répond à la section horizontale de la boîte à feu, le rapport existant entre le *plein* et le *vide*, qui dépend du nombre et de l'épaisseur des barreaux, sont des éléments d'une grande importance dans la construction d'une machine.—Il faut, en général, donner au passage de l'air la plus grande section possible, autant que le comporte la résistance des barreaux ; comme il faut, en général, que l'écartement des barreaux soit faible pour que le coke ne passe pas à travers la grille. On y arrive en multipliant le nombre de barreaux et en ne leur donnant qu'une faible épaisseur. — L'écartement ne doit guère dépasser la limite de 0^m 020 à 0^m025 ; cependant il faut augmenter cet écartement, lorsque le coke est impur et produit du mâchefer, pour que le passage de l'air ne s'obstrue pas et pour qu'il soit possible de piquer le feu et de nettoyer la grille.

Les barreaux sont en fer forgé ou en fer laminé ; dans le premier cas, ils sont renflés vers le milieu, à leur partie inférieure (*fig.* 1, *pl.* 5), dans le second cas (*fig.* 1, 2, 3, *pl.* 6), ils sont rectilignes ; les extrémités sont façonnées en forme de T pour s'appliquer sur le cadre qui les supporte et pour maintenir l'écartement. Les barreaux en fer laminé sont chanfrinés aux deux bouts, pour faciliter la mise en place ; pour le même motif, et à cause de la dilatation, les uns et les autres ont une longueur d'environ 0^m 01 inférieure à celle du foyer ; on a même soin d'abattre, à chaque bout, l'angle supérieur, pour que la dilatation ne les fasse pas courber, lorsque les extrémités sont calées par des cendres tassées ou du mâchefer ; ces obstacles, ne formant plus qu'un coin obtus, se déplacent lorsque le barreau s'allonge. Les barreaux en fer forgé sont fabriqués dans

des étampes, au marteau à main ; ils sont préférables pour la conservation au feu, mais ils sont trop coûteux et on leur préfère généralement les barreaux en fer laminé ; ceux-ci viennent de la forge coupés à la longueur exacte, et les extrémités sont façonnées par refoulement ou par l'application de deux petites mises.— Les barreaux ont habituellement 0^m 100 de hauteur au milieu, 0^m 020 à 0^m 025 de largeur à la partie supérieure, et 0^m 010 à 0^m 015 à la partie inférieure que l'on amincit pour faciliter le passage de l'air.

Les barreaux sont habituellement portés par un cadre en fer carré de 0^m 04 de côté, supporté lui-même par huit consoles ou pattes en fer forgé, vissées et boulonnées sur la pièce, qui établit la jonction entre les boites à feu intérieure et extérieure (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 6) ; il porte des goujons, qui entrent dans des trous correspondants ménagés sur les consoles. Il est nécessaire que les côtés du cadre qui portent l'extrémité des barreaux soient en contre-bas des deux autres côtés, de toute l'épaisseur des oreilles, afin que la grille forme une table bien plane. On peut, avec avantage, supprimer les côtés latéraux du cadre, en disposant les barreaux jusqu'au contact des parois du foyer. La surface de la grille doit être placée à 0^m 03 ou 0^m 04 en contre-haut du fond de la chaudière, afin que les dépôts d'incrustations qui s'accumulent et se solidifient dans cette partie, pendant le temps que la machine reste en service, ne s'élèvent pas plus haut que le point où le combustible incandescent est en contact avec les parois.

Les barreaux doivent toujours être placés dans le sens de la longueur de la machine, pour que le mécanicien puisse, en cas d'accident, les arracher et jeter bas le feu, en passant un *ringard* par la porte, et pour que le chauffeur puisse nettoyer ou piquer le feu par-dessous.

Autrefois, on se servait de grilles à bascule, afin de pouvoir jeter le feu rapidement ; le cadre était en fonte, mobile autour d'un de ses côtés et soutenu, de l'autre côté, par des crochets reliés à une tige que le mécanicien pouvait manœuvrer de sa plate-forme. Ce système, depuis longtemps abandonné, vient d'être appliqué de

nouveau pour les machines à très-grand foyer, dans lesquelles il est nécessaire de mettre des barreaux en deux longueurs, pour les rendre capables de supporter le poids du combustible ; on l'a employé seulement pour la partie postérieure de la grille que le mécanicien ne peut pas atteindre avec sa lance à jeter le feu.

3° Tubes. Les tubes de fumée ou à air chaud sont généralement en laiton ; on en a fabriqué en fer et très-rarement en cuivre rouge. En principe, le diamètre des tubes doit être aussi petit que possible, pour que la surface de chauffe qu'ils produisent ait le plus grand développement possible, leur nombre variant inversement à leur diamètre ; mais, dans la pratique, des tubes trop étroits gêneraient le tirage, et seraient facilement obstrués par les petits fragments de coke, par la cendre et par le mâchefer que la rapidité du courant de gaz chauds entraîne. Leur diamètre extérieur varie de 0^m 043 à 0^m 050, et l'épaisseur de leur paroi de 0^m 002 à 0^m 0025. Les tubes sont assez promptement usés par l'action du feu, surtout lorsqu'ils se chargent d'incrustation à l'intérieur de la chaudière par le frottement des fragments de coke, et par les tiraillements auxquels ils sont soumis par les alternatives de dilatation et de contraction ; lorsqu'on les remplace, on trouve quelquefois leur poids total réduit de plus de moitié, ce qui permet d'apprécier quelle diminution subit leur épaisseur.

Les tubes sont fixés dans la boîte à feu et dans la boîte à fumée, au moyen de *bagues* ou de *viroles* en acier, cylindriques à l'intérieur, légèrement coniques à l'extérieur, et légèrement amincies au bout qui pénètre dans le tube ; leur épaisseur ne doit pas excéder 0^m 002. Les tubes sont cylindriques et sont enfilés dans les deux trous correspondants des plaques tubulaires, par la porte de la boîte à fumée ; lorsqu'ils sont tous placés, on procède à la pose des viroles, d'abord dans le foyer, ensuite dans la boîte à fumée. On chasse fortement les viroles avec un marteau, en ayant soin d'enfoncer des mandrins dans les tubes voisins, lorsqu'ils ne sont pas encore garnis de leur virole, pour empêcher la déformation des trous percés dans la plaque tubulaire. Les viroles doivent

entrer de force et serrer fortement le bord des tubes contre les trous qu'ils remplissent ; elles doivent rester seulement d'un ou deux millimètres en saillie sur la plaque tubulaire. On matte sur les viroles l'extrémité des tubes pour achever de former le joint.

Quelques constructeurs anglais ont complétement supprimé les viroles dans la boîte à fumée, et se contentent de mandriner fortement le tube pour l'appliquer exactement sur la tranche de la plaque tubulaire ; les bords, qui font une très-légère saillie, sont rabattus et mandrinés. Cette disposition, qui exige une pose très-soignée, permet aux fragments de coke entraînés dans les tubes de s'échapper plus facilement, et rend le nettoyage plus commode. Dans les machines où l'on brûle du bois, on supprime les viroles de la boîte à feu, en soudant, à l'extrémité du tube, un bout en cuivre rouge, un peu plus épais que le reste, que l'on mandrine fortement et que l'on refoule à l'intérieur, en même temps qu'on le matte avec soin à l'extérieur. On laisse vide un des trous inférieurs, et on le ferme par un bouchon taraudé qu'on enlève pour nettoyer le corps cylindrique.

L'écartement des tubes ne doit pas diminuer au-dessous de certaines limites ; un vide de 0^m 013, ménagé entre deux tubes de la même rangée, est la plus petite dimension que l'on ait appliquée sans inconvénient ; c'est même faible lorsque les tubes se recouvrent d'incrustations. Un écartement plus petit ne laisserait pas un passage suffisant à la vapeur ; il pourrait se former ce que l'on appelle des *chambres*, et les tubes recevraient des coups de feu. En outre, si l'écartement des tubes était trop faible, la plaque tubulaire du foyer serait trop affaiblie et, en cas de réparation, il ne resterait plus de marge pour la réparation des trous ovalisés, et même pour l'agrandissement forcé qu'occasionnent toujours le renouvellement et la pose des tubes. On donne, en construisant, aux trous de la plaque du foyer, un diamètre de 0^m 002 inférieur à celui des trous de la plaque opposée, et, après trois ou quatre changements de tube, les premiers se sont agrandis, par le refoulement du métal, au diamètre des derniers. Par tous ces motifs, il nous semble que l'écartement le plus convenable à adopter est

0m 017, de telle sorte que, pour des tubes de 0m 050 de diamètre extérieur, la distance de centre en centre soit de 0m 067.

Les tubes sont disposés par rangées, en forme de quinconce. Quand ils sont très-longs, on les supporte dans leur milieu par une feuille de tôle (*fig.* 1, *pl.* 58 ; *fig.* 1, *pl.* 64 ; *fig.* 1, *pl.* 67 ; *fig.* 3, *pl.* 71), attachée au corps cylindrique et percée de trous correspondant à ceux des plaques tubulaires, mais laissant aux tubes un jeu de 0m 005. La longueur des tubes aurait pour limite théorique celle qui ne laisserait plus aux gaz chauds qu'une faible température peu différente de celle de l'eau renfermée dans la chaudière; mais la longueur augmente la résistance à l'écoulement et nécessite un tirage plus actif, elle augmente la dimension et le poids de la machine entière; il faut donc s'arrêter, dans la pratique, à une limite qui laisse encore aux gaz une température assez élevée dans la boîte à fumée.

Voici, à cet égard, l'opinion de MM. Brunel et Gooch, exprimée dans un rapport adressé récemment aux commissaires chargés par le Parlement de faire une enquête sur le chemin de fer de Birmingham : « Dans les chemins à voie de 1m 50, on a cherché à « compenser l'inconvénient de ne pouvoir donner une grande « largeur à la boîte à feu par une augmentation de longueur de « la chaudière; mais c'est une erreur de croire qu'on y gagne de « la puissance, car nous avons expérimenté qu'il suffirait que la « superficie totale des tuyaux fût égale à environ dix à onze fois « la surface de la boîte à feu pour que ces tubes abandonnassent « à l'eau de la chaudière toute la chaleur engendrée par la boîte « à feu; et si en adoptant la proportion que nous indiquons, il « passait encore une quantité de chaleur de quelque importance, « il vaudrait mieux, pour y remédier, augmenter le nombre des « tubes que les allonger, car, dans le premier cas, on arriverait « au résultat par l'augmentation de la section d'écoulement, tandis « que dans l'autre on serait forcé d'augmenter la contre-pression « pour obtenir le vide nécessaire dans la boîte à fumée, vide qui, « dans les nouvelles machines à longues chaudières, s'est élevé à « environ 0m 27 de hauteur d'eau, tandis qu'il n'excède pas 0m 12 « à 0m 15 dans les machines du Great-Western. »

Les tubes sont fabriqués habituellement au moyen de bandes de laiton, dont on taille les bords en biseau, que l'on cintre en les battant à froid sur des mandrins, et que l'on soude ensuite, par superposition des bords, sur une largeur de 3^{mm}. MM. Durenne père et fils ont appliqué à la préparation et au cintrage des tubes une machine très-simple qui a produit de très-notables économies sur la dépense de main-d'œuvre. Les tubes soudés reçoivent leur forme définitive par une sorte de tirage au banc. On soude quelquefois par agraffe, en découpant sur les deux bords des espèces de dents qui entrent les unes dans les autres. Les tubes, après la soudure, sont essayés à des pressions de 20 à 30 atmosphères. En Angleterre, on fabrique des tubes sans soudure par tirage au banc; mais cette méthode, qui présente l'avantage d'une fabrication plus régulière, peut avoir pour inconvénient d'altérer la cohésion du métal et de nuire à la conservation des tubes.

Avant de terminer ce qui a rapport aux tubes, nous dirons un mot des viroles récemment imaginées par M. Lemaître. Elles sont fabriquées au moyen de petites bandes d'acier, laminées suivant le profil que doit avoir définitivement la virole; ces bandes, coupées à la cisaille, sont chauffées au rouge, enroulées sur un mandrin et reçoivent leur dernière forme dans une matrice qui rapproche les deux extrémités; il est inutile de les tourner, attendu qu'elles viennent à la forme voulue, et par suite elles peuvent être fabriquées à un prix plus bas que les viroles ordinaires.

§ 2. — Chaudière.

La chaudière enveloppe complétement le foyer et ses tubes; elle renferme l'eau qui produit la vapeur et la vapeur produite; elle est construite en entier en tôle de fer. Elle se compose toujours de deux parties qui ne présentent, d'une machine à l'autre, que des différences de forme peu importantes.

1° Boite a feu extérieure. — L'enveloppe extérieure de la boite à feu, qui reçoit dans le langage des praticiens le nom de boite à feu extérieure, épouse exactement à sa partie inférieure et

moyenne la forme de la boite à feu. Nous avons déjà dit comment elle se rattachait à celle-ci à sa base inférieure, et comment ses parois planes étaient soutenues contre l'effort dû à la tension de la vapeur, au moyen d'entretoises. L'espace compris entre les deux boites à feu est nécessairement très-restreint, car l'enveloppe extérieure ne peut pas faire saillie sur les longerons du châssis lorsqu'il est intérieur, ou venir toucher les roues, lorsque le châssis est extérieur; le foyer, d'un autre côté, doit avoir toute la largeur possible. On ne saurait donner sans inconvénient moins de 0m 080 de largeur à la couche d'eau qui baigne la boite à feu intérieure; une dimension trop restreinte rendrait difficile le mouvement de circulation de l'eau qui se renouvelle et de la vapeur qui se dégage; il pourrait se faire des chambres de vapeur qui compromettraient la conservation du foyer.

La partie supérieure de l'enveloppe du foyer affecte des formes diverses. La disposition la plus simple consiste à donner à la partie cylindrique un diamètre égal à la largeur de la boite à feu extérieure et à terminer celle-ci par un demi-cylindre, qui est le prolongement du corps cylindrique; celui-ci, sur sa demi-circonférence inférieure, se raccorde avec la paroi antérieure de la boite à feu extérieure qui est emboutie à cet effet; la paroi postérieure de celle-ci s'élève verticalement jusqu'à la rencontre du demi-cylindre et elle a ses bords rabattus en forme de cornière pour lui servir d'attache (*fig.* 2 *et* 3, *pl.* 7, et *fig.* 1, 2, *pl.* 8).

Une disposition un peu moins simple et plus anciennement employée, consiste à donner au corps cylindrique un diamètre notablement inférieur à la largeur de la boite à feu extérieure, à recouvrir celle-ci d'un demi-cylindre d'un diamètre un peu plus grand que celui du corps cylindrique, qui s'y rattache par une double cornière (*fig.* 1, *pl.* 5; *fig.* 1, *pl.* 6; *fig.* 1, *pl.* 7). Le choix à faire entre ces deux formes dépend de la position et de la dimension des roues; on donne au corps cylindrique le plus grand diamètre possible, et si l'on n'est pas gêné par les roues, on évase la boite à feu extérieure et le foyer intérieur, de telle sorte que celui-ci ait au plafond une largeur à peu près égale au diamètre du

corps cylindrique ; si les roues ont un trop grand diamètre et rendent cet évasement impossible, on donne à la boîte à feu extérieure, dont les parois restent verticales, une largeur égale à celle du corps cylindrique ; on perd quelques tubes, mais l'ensemble de la disposition de la chaudière présente toujours un grand avantage pour la capacité du réservoir de vapeur. Ces deux dispositions sont indiquées sur les *fig.* 1, *pl.* 5 et 6 d'une part, et les *fig.* 2, 3, *pl.* 7, et *fig.* 1, 2, *pl.* 8, de l'autre.

Une troisième forme a été très-souvent employée, mais on y renonce généralement ; elle a été introduite par Stephenson et est restée longtemps comme le signe caractéristique des machines construites sur ses plans. Elle s'obtient, *fig.* 1, *pl.* 5, en prolongeant les faces verticales de la boîte extérieure jusqu'à la hauteur de l'arête supérieure du corps cylindrique, en les raccordant deux à deux, les faces latérales entre elles, et la face d'avant avec celle d'arrière, par des portions de surfaces cylindriques qui se coupent en arc de cloître. Il résulte de cette construction une capacité assez considérable qui sert de dôme de prise de vapeur. On désigne communément ces chaudières sous le nom de chaudières à *dôme carré*.

Lorsque la boîte à feu extérieure est recouverte par un demi-cylindre, la partie supérieure de sa paroi d'arrière est reliée avec la partie supérieure de la plaque tubulaire de la boîte à fumée par des tirants en fer qui sont nécessaires pour empêcher la pression de déformer ces parties planes. Dans la chaudière à dôme carré, indépendamment de ces tirants, il est nécessaire de mettre d'autres tirants, qui relient les parois latérales, dans la partie comprise entre le dernier rang d'entretoises et la naissance du dôme à quatre pans cylindriques. En outre, les constructeurs se sont toujours attachés à consolider le dôme lui-même par de forts tirants allant d'une paroi à la paroi opposée et par des tirants obliques ; cette complication d'armatures est inutile, car le dôme résultant de l'intersection de deux surfaces cylindriques à base circulaire résiste tout autant, de lui-même, à la pression qu'un cylindre ou qu'une sphère ; les armatures devraient s'arrêter à la nais-

sance. On renonce à cette forme, parce que le poids du dôme et de ses armatures augmente le poids à l'arrière ; l'objection est sérieuse lorsque les trois essieux sont intercalés entre la boîte à feu et la boîte à fumée : il y a, dans ce cas, un poids trop considérable en porte-à-faux, qui nuit à la bonne répartition de la charge sur les essieux ; mais cette objection n'existe plus lorsque la troisième paire de roues est reportée à l'arrière, et cette forme de chaudière reste avec l'avantage d'augmenter considérablement la capacité du réservoir de vapeur ; elle deviendrait surtout avantageuse, si l'on consolidait les parois planes par un système d'armatures analogues à celles qui sont appliquées sur le ciel du foyer, de manière à rendre l'intérieur de la chaudière accessible pour la visite, le nettoyage et les réparations. Cette disposition a été appliquée avec succès par M. C. Polonceau, pour remplacer les tirants qui vont de la paroi postérieure de la boîte à feu à la plaque tubulaire de la boîte à feu ; ces parois planes sont consolidées au moyen de cornières (*fig.* 3, *pl.* 7).

2° Corps cylindrique. — Le corps cylindrique se compose de feuilles de tôle assemblées au moyen de rivets à recouvrement les unes sur les autres (*fig.* 1, *pl.* 5 *et* 6), ou réunies par des bandes de tôle rivées sur le bord de chaque feuille (*fig.* 1, *pl.* 58 *et* 64). Ainsi que nous l'avons dit, on assemble le corps cylindrique avec la boîte à feu extérieure au moyen de cornières ; quelquefois on a préparé la plaque antérieure de celle-ci en y découpant un cercle d'un diamètre plus petit que le corps cylindrique, et en *repoussant* les bords du trou ainsi obtenu, de manière à former sur tout son pourtour une saillie cylindrique à laquelle s'attache le cylindre ; les bords de cette plaque sont également repoussés pour servir d'attache aux parois latérales de l'enveloppe du foyer. — Cette construction est dispendieuse et d'une exécution difficile ; cependant la qualité de nos tôles au bois permet d'en faire l'application.

Le corps cylindrique se rattache, au moyen d'une cornière, avec la plaque tubulaire de la boîte à fumée dont la largeur excède son diamètre. La cornière doit être faite en fer de première qualité et

assujettie très-solidement, à cause des tiraillements qu'occasionne la dilatation, et de la fatigue qu'éprouve cette partie de la chaudière.

Nous indiquerons plus loin, en traitant des prescriptions réglementaires, les épaisseurs que doivent présenter les diverses parties de la chaudière. Sa longueur est réglée sur celle des tubes. Le diamètre dépend de plusieurs éléments; il doit être réglé sur la largeur de la boîte à feu, dans quelques cas sur celle de son enveloppe extérieure; lorsque les ressorts de suspension sont placés au-dessus du châssis, comme on le verra plus loin, et qu'en même temps on veut éviter d'exhausser la chaudière, le diamètre du corps cylindrique se trouve limité par leur écartement. Quelques constructeurs ont, dans le but de remédier à cet inconvénient, ovalisé le corps cylindrique, en donnant aux deux axes une différence de 0m 06 au maximum; il convient, dans ce cas, quoique dans certaines machines on se soit dispensé de cette précaution, de placer au-dessus des tubes des tirants horizontaux, pour empêcher, sinon la rupture, du moins la déformation de la chaudière et la fatigue de ses assemblages. — Le diamètre intérieur du corps cylindrique est, au minimum, de 0m 95 à 0m 97; il n'a pas jusqu'ici dépassé 1m 27 dans les machines faites pour les chemins à petite largeur de voie.

Pour éviter autant que possible la déperdition de la chaleur, on enveloppe le corps cylindrique de la chaudière de matières peu conductrices. Habituellement, on met une première couverture en gros feutre, et par-dessus des douves en bois de sapin ou d'acajou maintenues par des cercles en fer feuillard et assemblées entre elles à rainure et languette (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 62 *et* 68). On arrive maintenant à placer directement sur la tôle, en ayant cependant soin de laisser entre deux une couche d'air de 10 à 15mm, des douves en bois enfermées dans une enveloppe en tôle mince.

La boîte à feu extérieure est recouverte de la même manière, mais on doit recouvrir en tôle seulement, toute la partie qui est inférieure à la plate-forme du mécanicien et qui peut être atteinte par la flamme qui sort quelquefois au-dessous de la grille.

3° Porte et trou d'homme. — La porte est de forme ovale, le trou qu'elle ferme est percé à travers les parois extérieures des deux boîtes à feu, qui sont reliées par un anneau en fer forgé et des entretoises qui traversent l'épaisseur de cet anneau. Elle est en tôle de 0m 01 d'épaisseur, et garnie intérieurement d'une autre plaque qui en est maintenue à 0m 06 ou 0m 07 de distance par les tiges de fer qui la supportent; cette plaque reçoit l'action directe du feu, concourt à empêcher le refroidissement et conserve la porte. La porte a deux pentures qui s'appliquent sur deux gonds fixés sur la chaudière; elle a, en outre, un loqueteau en acier trempé qui s'engage dans une gâche fixée à la chaudière. Une chaînette, dont l'extrémité est à la main du mécanicien, lui sert à lever le loqueteau et en même temps à tirer la porte, qu'il repousse avec son pied pour la refermer; le loqueteau forme ressort ou bien est maintenu par un ressort.

On dispose généralement une tôle en forme d'auvent au-dessus de la porte, pour empêcher la flamme de monter le long de l'enveloppe, et pour préserver le mécanicien de la chaleur qui rayonne du foyer, lorsque cette porte est ouverte en stationnement.

La porte est placée à 0m 10 environ au-dessus de la plate-forme; elle a habituellement 0m 35 sur 0m 27 d'ouverture.

Le *trou d'homme* sert à la visite et à la réparation de la chaudière, et plus spécialement pour le régulateur lorsqu'il est intérieur; il est placé au-dessus ou près de celui-ci. Il consiste souvent dans le dôme de prise de vapeur lui-même, qui se démonte à un ou même à deux points de sa hauteur (*fig.* 1, *pl.* 7). Dans les machines à dôme carré, il est elliptique et bouché par un disque en fonte à fermeture autoclave (*fig.* 1, *pl.* 5).

4° Boite a fumée. — La boîte à fumée affecte la même forme que l'enveloppe extérieure de la boîte à feu; seulement, elle ne descend pas aussi bas que celle-ci; elle est fermée, au-dessous du corps cylindrique de la chaudière, par une paroi plane, ou mieux par un demi-cylindre qui forme, avec la partie supérieure, un cylindre complet. Dans les anciennes machines à cylindres intérieurs

et à tiroirs en dessus, la boîte à fumée se prolongeait à la partie inférieure et elle enveloppait complétement les cylindres pour leur servir de support. La paroi postérieure est formée par la plaque tubulaire; la paroi antérieure est percée d'une large ouverture fermée par une porte, servant au nettoyage et à la réparation des tubes, du tuyau de prise de vapeur, du tuyau d'échappement, etc.

La forme et les moyens de fermeture de la porte sont assez variables; elle est ou rectangulaire et à deux battants, ou circulaire avec charnière verticale, ou demi-circulaire avec charnière horizontale. Dans les deux derniers cas, elle ferme au moyen de plusieurs verrous intérieurs, commandés par une manette commune; dans le premier cas, la fermeture se fait au moyen d'une barre fixée à l'une des portes et qui s'agraffe sur l'autre au moyen d'un verrou de forme spéciale. Dans tous les cas, la porte doit fermer exactement, pour ne pas laisser des rentrées d'air nuisibles au tirage; aussi la fait-on appliquer ordinairement sur un fer de cornière, en saillie, qu'on peut dresser et qui a encore l'avantage de consolider cette partie de la boîte à fumée et de l'empêcher de se voiler sous l'action de la chaleur (*fig.* 1, *pl.* 9). Quelquefois, pour empêcher la porte de se déformer par l'action de la chaleur, on la double d'une plaque maintenue à quelque distance, comme pour la porte du foyer. La paroi antérieure de la boîte à fumée, lorsque la porte ne démasque pas entièrement la plaque tubulaire, est percée à sa partie supérieure d'un trou qui sert à l'introduction et à l'enlèvement de la partie du tuyau de prise de vapeur qui est à l'intérieur de la chaudière.

Les parois latérales et le dessus de la boîte à fumée sont d'une seule feuille de tôle, fixée sur les autres parois au moyen de cornières. — Le fond de la boîte à fumée, lorsque le dessous est libre, par exemple, dans le cas des machines à cylindres extérieurs, ou des cylindres intérieurs entièrement enveloppés, est percé d'un trou qui sert à vider les cendres, et qui est fermé par une petite porte à coulisse ou à charnière. La fermeture de cette porte doit être faite avec beaucoup de soin, car, aussitôt qu'elle s'ouvre, le tirage est fortement diminué.

La plaque des tubes doit avoir à l'endroit des tubes 0m 015 à 0m 016 d'épaisseur ; les autres parois ont de 0m 005 à 0m 008 d'épaisseur. — Lorsque les cylindres sont intérieurs, la plaque tubulaire et souvent aussi celle de la porte se prolongent à la partie inférieure pour servir de support aux cylindres (*fig.* 1, *pl.* 64). La boîte à fumée s'use vite par l'action simultanée des gaz chauds et de la vapeur d'eau ; au bout de six à sept années elle est détruite par l'oxydation ; il est donc nécessaire de n'employer pour la construction que des matériaux de bonne qualité, si l'on tient à en assurer la conservation.

Les dimensions de la boîte à fumée doivent être en principe aussi restreintes que possible, car l'effet immédiat du tirage, produit par l'échappement, est de dilater l'air compris dans sa capacité ; cette raréfaction étant opérée par suite de la diminution de pression qui en est la conséquence, les gaz chauds qui remplissent les tubes et à leur suite ceux qui remplissent la boîte à feu, s'y précipitent, pour faire place à l'air frais que la différence de pression fait passer à travers la grille et à travers le combustible ; il est évident que, pour une même action produite par l'échappement de la vapeur dans la cheminée, la dilatation sera d'autant plus grande, dans la boîte à fumée, que celle-ci aura un plus petit volume, et, par suite, l'appel de l'air à travers le foyer sera plus énergique. Par le même motif, il conviendrait de restreindre, autant que possible, la capacité des tubes et du foyer, s'il n'y avait pas nécessité de la maintenir très-grande pour obtenir une surface de chauffe suffisante. — Quelques constructeurs se sont appliqués à réduire autant que possible la capacité de la boîte à fumée ; cependant, la plupart d'entre eux n'ont tenu aucun compte des considérations qui précèdent ; l'un d'eux, M. J.-J. Meyer, de Mulhouse, a eu l'idée de placer une plaque horizontale au-dessus de la rangée supérieure des tubes, et de faire descendre la cheminée jusqu'à cette plaque qui est assemblée par des cornières avec les parois verticales ; il a appliqué cette disposition, dès l'année 1845, à des machines locomotives qui lui avaient été commandées par le gouvernement autrichien, qui, à son tour, l'a adoptée pour le reste de son matériel. Ce mode de construction

de boîte à fumée n'a pas frappé jusqu'ici l'attention de nos autres constructeurs ; elle vient d'être récemment appliquée en Angleterre. Indépendamment de la réduction de volume, il y a plusieurs avantages à isoler ainsi la partie supérieure de la boîte à fumée de la partie inférieure, à diminuer la capacité de la boîte à fumée proprement dite ; la cheminée se trouve notablement allongée et le tuyau d'échappement est raccourci d'une quantité considérable, les joints du tuyau de prise de vapeur ne sont pas altérés par l'action de la chaleur ; toutefois, la pose de la grille destinée à arrêter les flammèches devient difficile.

5° CHEMINÉE. — La cheminée est de forme cylindrique et construite d'une seule feuille de tôle de 0m 004 à 0m 005 d'épaisseur ; elle se place sur le sommet de la boîte à fumée, à laquelle on la rattache par des boulons, dont il faut avoir soin de placer les écrous en dehors pour faciliter le démontage. — La cheminée reste le plus souvent cylindrique jusqu'au sommet, et l'évasement qu'elle porte à la partie supérieure n'est alors qu'un ornement ; mais elle s'évase souvent à la base sur une petite partie de sa hauteur (*fig.* 1 *et* 3, *pl.* 9) ; cette disposition, dont l'utilité a été souvent contestée, est cependant consacrée par l'expérience, et elle tend à devenir générale ; elle facilite l'écoulement des gaz et remédie en partie à l'étranglement qu'occasionne le tuyau d'échappement qui doit s'engager de quelques centimètres dans la cheminée.

La hauteur de la cheminée est insuffisante pour exercer une influence très-marquée sur le tirage ; elle ne pourrait, dans aucun cas, suffire à elle seule pour le produire, mais il est essentiel de la rendre aussi grande que possible, soit pour augmenter le tirage constant, soit pour rendre plus efficace l'action du jet de vapeur.— En France, la hauteur des cheminées est généralement limitée à 4m 25 au-dessus du rail, la hauteur normale des ouvrages d'art étant de 4m 30. La hauteur effective de la cheminée varie suivant la hauteur de la chaudière de 1m 60 à 2m ; son diamètre intérieur varie de 0m 33 à 0m 40. La comparaison des dimensions, relevées sur un grand nombre de machines, donne 0,70 pour le rapport de la section

de la cheminée à la section totale des tubes garnis de leur virole. Il y a un rapport nécessaire entre ces éléments, mais aucune donnée théorique, aucune expérience ne peut servir de point de départ dans la construction, aussi remarque-t-on des différences assez marquées d'une machine à l'autre ; c'est là une lacune regrettable qu'il serait facile de combler par quelques expériences peu coûteuses.

La cheminée doit être surmontée d'un *capuchon* ou *clapet*, formé d'un disque de tôle mobile autour d'une charnière fixée sur le bord même de la cheminée, ou autour d'une tige verticale, portée par une crapaudine et des guides fixés le long du tuyau, et se rattachant à ce disque par une patte rivée sur son bord.

§ 3. — Accessoires de la chaudière.

1° Cendrier. — Le *cendrier* a pour objet d'arrêter les escarbilles et les morceaux de coke incandescents tombant à travers la grille, et qui, lancés violemmentpar les roues, lorsqu'elles les atteignent en rebondissant sur le sol, peuvent devenir la cause d'incendies, soit dans le train remorqué par la machine, soit sur les talus, soit même en dehors de l'enceinte du chemin de fer. — Les exemples d'incendies de moissons, de bois, de maisons couvertes en chaume sont fréquents. Il est plus difficile de constater la cause des incendies qui se déclarent dans les trains en marche ; mais il y a tout lieu de croire que, lorsqu'ils sont allumés par des fragments de coke échappés de la machine, c'est par la grille que ces fragments sont sortis ; ainsi, l'on a trouvé des fragments de coke engagés dans les pièces de bois qui composent les châssis des wagons, et qui étaient en partie carbonisés à leur contact ; on a recueilli dans des coupés de voitures des fragments de coke qui y avaient mis le feu et qui avaient des dimensions plus grandes que le diamètre des tubes. Un des rédacteurs de ce livre, voyageant sur une machine isolée de son tender par un vide de 0^m 15 à 0^m 20 de largeur, a failli être blessé grièvement par un gros morceau de coke incandescent lancé par une des roues d'arrière de la machine et qui, après s'être élevé verticalement à une assez grande hauteur, est venu retomber tout allumé sur le tender.

On voit enfin souvent les fragments de coke s'engager dans les roues des wagons, et décrire des cercles de feu jusqu'au moment où ils sont complétement éteints. Tous ces faits prouvent à l'évidence la nécessité d'appliquer des cendriers à toutes les machines, pour éviter des incendies qui pourraient devenir la cause de très-graves accidents. Au point de vue de la sécurité, il suffit de les disposer de manière à retenir les fragments de coke au moment où ils tombent à travers la grille ; on peut se contenter d'une simple plaque de tôle à bords relevés, suspendue au-dessous du foyer. — Mais il convient d'utiliser ces appareils pour régler le tirage, surtout pendant le stationnement des machines. On ferme complétement les trois faces d'arrière et de côté, en pratiquant dans la première une petite porte qui sert à introduire un râble pour vider le cendrier lorsqu'on pique ou jette le feu ; on dispose sur le devant une porte à charnière horizontale que le mécanicien manœuvre à volonté, au moyen d'un levier placé à sa main. Cette porte peut être manœuvrée pendant la marche pour régler le tirage, lorsque la machine n'a pas de tuyau d'échappement variable ; elle doit être fermée pendant les temps d'arrêt et de stationnement (*fig.* 1, *pl.* 56 *et* 61). Il convient de ménager dans le fond du cendrier une sorte de trou d'homme, fermé par une plaque de tôle rapportée, et qui permet de pénétrer dans le foyer sans qu'on soit obligé de démonter l'appareil entier.

Les cendriers obligent à donner une certaine hauteur au foyer au-dessus du sol, car il faut que leur embouchure soit assez large pour laisser affluer toute la quantité d'air nécessaire à la combustion, et de plus, il faut qu'ils restent eux-mêmes à une certaine hauteur au-dessus du ballast. On peut encore les appliquer sans difficulté lorsque cette hauteur est réduite à $0^{m}\ 35$.

Le seul inconvénient que présentent ces appareils, c'est qu'ils empêchent de jeter le feu rapidement, en cas d'accident ou d'avarie ; par contre, leur présence peut suffire pour prévenir l'incendie du train, à la suite d'un accident qui ferait monter les wagons sur la machine ou qui ferait monter une machine sur un train qu'elle viendrait heurter violemment à l'arrière. Quoi qu'il en soit, on ne doit hésiter dans aucun cas à en faire l'application.

2° Appareils pour arrêter les flammèches.—On a employé des appareils très-divers, quant à leur forme et à leur position, pour arrêter les flammèches quis'échappent par la cheminée,et qui, bien qu'infiniment moins dangereuses que les fragments de coke tombant de la grille, peuvent encore occasionner des incendies. La disposition la plus convenable consiste à former avec de petites tringles de fer méplates, hautes de 0^m 01 et placées de champ transversalement à l'axe de la machine, une grille retenue par un cadre en fer, que l'on assujettit dans la boîte à fumée, au-dessus de la rangée supérieure des tubes. Les fragments de coke, même très-petits, qui s'échappent des tubes, viennent frapper les barreaux de la grille et sont rejetés au fond de la boîte à fumée, tandis que les gaz passent à travers la grille et arrivent à la cheminée. — On pourrait augmenter l'écartement des barreaux en les élevant de telle sorte que les tubes ne puissent pas *voir* l'espace compris au-dessus de la grille. Il est inutile de donner à la grille une largeur exactement égale à celle de la boîte à fumée, car les escarbilles ne peuvent arriver à la cheminée qu'en vertu de la vitesse acquise dans les tubes, et ne peuvent pas être entraînées vers son orifice lorsqu'elles ont pris une direction différente de celle des gaz chauds. — On a imaginé, en Allemagne, un appareil très-ingénieux pour arrêter les flammèches de charbon de bois. Il est basé sur ce principe, qu'un corps solide, animé d'une grande vitesse, continue à suivre sa direction initiale pendant un certain temps lorsque la force qui le sollicite a cessé d'agir, tandis que les gaz, à raison même de leur faible masse, peuvent éprouver des changements de direction très-brusques ; l'appareil opère un véritable *départ* entre les flammèches et les produits de la combustion.

3° Registres.—Les registres sont destinés à fournir un moyen de modérer le tirage pendant la marche ; ils consistent en un trou percé sur le côté de la boîte à fumée et fermé par une valve que le mécanicien fait glisser dans ses guides au moyen d'une tige dont l'extrémité est à sa main. Lorsqu'on ouvre le registre, le tirage de la cheminée fait entrer l'air extérieur dans la boîte à fumée ; le vide

ne s'y fait plus ou s'y fait moins complétement, et l'appel de l'air à travers la masse de combustible n'a plus lieu ou se trouve amoindri. On donne habituellement au registre unique, que porte chaque machine, une ouverture de 0m 25 sur 0m 20 (*fig.* 1, *pl.* 57).

On emploie généralement dans les machines du Great-Western, pour modérer le tirage, un appareil en forme de persiennes ou de jalousie, placé devant les tubes, dans la boîte à fumée. Cet appareil fonctionne en couvrant les tubes, en tout ou en partie, selon l'inclinaison qu'on donne aux lames de tôle qui forment la jalousie et qui, d'ailleurs, peuvent découvrir complètement les tubes quand le tirage doit être porté à son maximum.

4° Soupapes de sureté.—On place deux soupapes sur chaque machine, pour donner issue à la vapeur lorsqu'elle se forme en excès.—Les *fig.* 1, 2, 3 *et* 4, *pl.* 10, représentent la disposition la plus généralement adoptée. Les deux soupapes sont placées, l'une à côté de l'autre, sur un siége commun qui porte en même temps le sifflet d'alarme ; cependant, il arrive assez fréquemment, et cette disposition est du reste conforme aux prescriptions réglementaires, que les deux soupapes sont isolées, l'une étant placée à l'avant, l'autre à l'arrière. La soupape est formée d'un disque en bronze, portant une queue mobile dans un guide, et reposant sur son siége par une surface conique d'une très-petite étendue. La soupape est pressée par une tige qui s'appuie sur son centre, et qui est pressée elle-même par un levier à l'extrémité duquel agit un ressort.

Cette disposition de soupape exige une très-grande exactitude dans le montage, car si la tige exerce une poussée oblique sur le disque de la soupape, celle-ci ne se lèvera pas également, et il audra souvent une surcharge considérable pour l'empêcher de perdre. Il y aurait tout avantage à appliquer aux soupapes de machines locomotives le système de M. Chaussenot aîné, qui consiste à placer le point d'appui de la tige, qui transmet la charge du levier, au-dessous de la zone de contact; la fermeture est beaucoup plus exacte à degré égal de perfection dans le montage.

La charge du levier ne peut pas être établie au moyen de poids ; on se sert d'un ressort auquel on s'est habitué, dans la pratique, à donner le nom de *balance*. Parmi les dispositions diverses qui ont été adoptées, la plus convenable est celle que représente la *fig.* 1, *pl.* 10. Un ressort à boudin, enfermé dans un cylindre, est attaché par son extrémité inférieure, au fond de ce cylindre qui, lui-même, est fixé à la chaudière ; l'extrémité supérieure du ressort est attachée à une tige taraudée, traversant un œil qui termine le levier de la soupape, et arrêtée par un écrou ; en manœuvrant cet écrou, on tend ou l'on détend à volonté le ressort, et l'on donne au levier la charge qui correspond à ses dimensions, à celle de la soupape et à la limite de tension que la vapeur ne doit pas dépasser dans la chaudière. Le ressort à boudin peut être attaché, par sa partie supérieure, au cylindre, et se relier à la tige par son extrémité inférieure ; sa tension augmente alors par compression. La tige qui tend le ressort porte un index qui glisse dans une rainure pratiquée suivant une arête du cylindre enveloppe, à la surface duquel est tracée l'échelle des pressions. L'emploi des balances a l'inconvénient d'augmenter la charge des soupapes au fur et à mesure qu'elles s'ouvrent pour livrer passage à la vapeur ; on a tâché d'y remédier en augmentant la longueur des balances, de manière à augmenter la longueur des divisions de l'échelle ; cependant, l'expérience démontre que, depuis le moment où les soupapes commencent à *souffler* jusqu'à celui où toute la vapeur produite s'écoule librement, le manomètre monte de près d'une atmosphère. Pour remédier à cet inconvénient, il conviendrait d'employer la seconde disposition que nous venons d'indiquer, en donnant une tension initiale de 3 à 4 atmosphères, de telle sorte que toute la course disponible dans l'enveloppe correspondît aux augmentations de pression qui auraient lieu à partir de cette limite inférieure. On arriverait, de cette manière, à rendre beaucoup plus libre l'ouverture des soupapes, lorsque la limite de tension serait atteinte. — Nous recommandons aux constructeurs l'étude de cette modification qui est, du reste, destinée à prendre place dans les prescriptions administratives, pour les chaudières de locomotives timbrées

à très-haute pression. — On a souvent signalé l'inconvénient qu'il y avait à fendre le cylindre enveloppe, par une rainure qui donne passage au style ; l'eau et les ordures entrent dans ce cylindre et finissent par gêner le jeu du ressort ; il convient de modifier cette disposition, en attachant la tige supérieure au cylindre enveloppe, et en attachant le ressort, par sa partie inférieure, à ce cylindre, et par sa partie supérieure, à une tige fixée sur la chaudière, qui porte elle-même les divisions.

Nous indiquerons plus loin, en examinant les mesures de sûreté réglementaires, quelles sont les dimensions adoptées pour les soupapes et le mode de calcul adopté pour déterminer leur charge.

Il convient de disposer sur la tige qui relie le ressort à boudin à l'extrémité du levier de la soupape un arrêt qui limite la charge que le mécanicien peut donner à la balance au moyen de l'écrou, afin d'éviter que, dans un moment donné, pour surmonter un obstacle accidentel ou entraîner un convoi trop lourd, il ne surcharge la soupape.

5° Manomètres. — L'utilité de l'application des manomètres aux machines locomotives est incontestable ; mais l'imperfection des appareils employés jusqu'à ce jour a été un obstacle à ce que l'on obtînt de ces instruments tous les services qu'ils peuvent rendre ; ce n'est que par un entretien minutieux que l'on peut arriver à assurer la régularité de leur marche. On a construit d'abord, il y a environ huit ans, des *manomètres à piston*, pressant sur un ressort à boudin ; un robinet, ouvert par le mécanicien chaque fois qu'il voulait observer la tension de la vapeur, mettait l'appareil en charge ; la position occupée sur l'échelle par un index attaché au piston, indiquait le nombre d'atmosphères qui mesurait la tension de la vapeur. Cet appareil ajoutait peu de chose aux indications qu'un mécanicien exercé peut obtenir en soulevant les balances et en estimant d'après l'effort qu'il doit exercer pour faire souffler la soupape, de combien la vapeur est au-dessous de sa tension limite. Il fallait un instrument toujours en fonction, placé sous les yeux du mécanicien, sur lequel il pût lire à chaque instant, et sans y songer en quelque sorte, les variations de tension.

On a essayé, sur une grande échelle, le *thermomanomètre*, ou thermomètre gradué en atmosphères, mais la fragilité de cet instrument qui, du reste, avait l'inconvénient d'être lent dans ses indications, l'a fait abandonner. On a employé plus tard, vers la fin de l'année 1845, le *manomètre à air libre de Richard*, dont le principe, indiqué depuis longtemps, n'avait pas encore reçu d'applications suivies. Cet instrument se compose d'un syphon à plusieurs branches, en communication les unes avec les autres, remplies de mercure à la partie inférieure, d'eau à la partie supérieure, de telle sorte que les différences de niveau du mercure dans chaque syphon partiel, s'ajoutent. Cet instrument, quoique coûteux de premier achat et d'un entretien assez assujettissant, remplit complétement le but que l'on doit se proposer d'atteindre. On lui a généralement préféré un simple *manomètre à air comprimé*, disposé pour rendre le nettoyage et la rectification très-faciles, mais qui est également assez assujettissant, à cause des dérangements fréquents qu'il éprouve, et qui, du reste, n'est susceptible, comme tous les manomètres à air comprimé, que d'une exactitude restreinte.

On emploie aussi, depuis quelque temps, le *manomètre différentiel à air libre* de Galy-Cazalat, construit par Journeux, cessionnaire du brevet de cet inventeur. Dans cet instrument, la vapeur agit sur un piston d'un certain diamètre, le mercure sur un piston d'un diamètre plus grand ; des membranes en caoutchouc volcanisé, qui s'appuient sur la surface de chaque piston, forment joint et empêchent l'eau ou le mercure de pénétrer dans le cylindre dont la capacité intérieure communique avec l'atmosphère. En proportionnant convenablement la surface des deux pistons, on arrive à donner à la colonne de mercure, mobile dans le tube de verre, une longueur aussi faible que l'on veut, et l'on donne à l'instrument des proportions très-restreintes.

Enfin un *manomètre-métallique* a été essayé depuis quelque temps avec succès ; il consiste en un tube de cuivre enroulé en spirale ou en hélice, fermé par un bout et communiquant par l'autre extrémité avec la chaudière ; la pression exercée par la

vapeur tend à redresser le tube et à le ramener à la forme rectiligne ; la spirale ou l'hélice se déforme dans les limites d'élasticité du métal, et son extrémité, en se déplaçant, agit, par l'intermédiaire d'un levier, sur un cadran. Ces quatre derniers manomètres peuvent fonctionner, d'une manière utile, pourvu qu'ils soient entretenus et surveillés avec soin.

Ces instruments se vendent tout prêts à mettre en place, chez les fabricants qui les construisent. Nous ne pensons pas qu'il soit utile de les décrire d'une manière plus complète.

6° Indicateur de niveau d'eau. — Il est indispensable, dans toute chaudière à vapeur, et surtout dans une chaudière de machine locomotive, de pouvoir vérifier, à chaque instant, le niveau de l'eau. On se sert pour cela d'un tube en cristal, monté sur deux tuyaux en communication avec la chaudière, l'un placé au-dessous l'autre au-dessus du niveau que l'eau doit atteindre habituellement (*fig.* 5, 6 *et* 7, *pl.* 10). Deux robinets servent à intercepter la communication avec la chaudière lorsque le tube vient à se briser ; un troisième robinet doit être placé à la partie inférieure du tube, pour permettre au mécanicien de vérifier, de temps en temps, si les tuyaux qui amènent l'eau et la vapeur ne sont pas obstrués ; il communique avec un tuyau qui aboutit sous la plate-forme. Le tube de verre est assujetti sur ses deux supports au moyen de *presse-étoupes*.

Indépendamment du tube indicateur de niveau d'eau, on doit disposer sur la chaudière trois robinets d'épreuve, placés à des niveaux différents, pour servir dans le cas où le niveau d'eau ne fonctionnerait pas, et même pour vérifier les indications de cet appareil. A proximité du niveau d'eau, on dispose un support sur lequel on place une petite lanterne qui éclaire, pendant la nuit, le tube de verre, sur lequel le mécanicien doit jeter fréquemment les yeux.

Stephenson a groupé ces deux appareils de sûreté en un seul, représenté *fig.* 5 *et* 6, *pl.* 10. Un cylindre en bronze communique avec la chaudière, haut et bas, et reçoit, d'un côté, le niveau d'eau,

de l'autre, trois robinets d'épreuve ; en regard des trous de communication avec la chaudière sont disposés des bouchons à vis, que l'on enlève pour nettoyer ces trous qui tendent toujours à s'obstruer par le dépôt des incrustations. Cette disposition a été longtemps en faveur ; mais on reconnaît maintenant qu'elle présente un inconvénient qui doit la faire repousser complétement. En effet, si les trous et les tuyaux de communication se bouchent, le niveau d'eau et les trois robinets d'épreuve cessent à la fois de donner des indications, tandis qu'ils devraient se suppléer les uns les autres.

On doit s'arranger pour que la partie inférieure du tube soit environ de $0^m\ 01$ plus haute que le niveau supérieur du plafond du foyer ; dans plusieurs cas, des mécaniciens, trompés par la disposition du tube qui contenait encore une colonne d'eau assez haute, lorsque le foyer découvrait, ont endommagé gravement des foyers en n'alimentant pas assez tôt.

On ajoute généralement aux moyens de sûreté qui viennent d'être indiqués, une disposition très-simple et qui a rendu souvent d'utiles services ; on place, dans le ciel du foyer, un écrou en fer, vissé dans l'épaisseur du métal, et dans lequel on coule du plomb. Ce bouchon fond lorsque le niveau de l'eau s'abaisse jusqu'au point de découvrir le foyer ; la vapeur s'échappe et éteint le feu.

On a eu souvent le tort de donner au bouchon fusible une forme cylindrique ou un diamètre trop grand, de telle sorte qu'il a pu, dans certaines circonstances, être chassé par la seule pression de la vapeur ; en lui donnant une forme conique très-prononcée, ou en taraudant profondément le trou dans lequel on coule le plomb, on remédie à cet inconvénient. On peut regarder l'application du bouchon fusible comme étant indispensable.

7° Sifflet. — Le *sifflet à vapeur* est placé sur la partie postérieure de la chaudière, à la portée du mécanicien, qui s'en sert pour annoncer l'arrivée du train, donner le signal d'avertissement pour la mise en marche, faire serrer et desserrer les freins. Il se compose, *fig.* 1, *pl.* 10, d'un réservoir percé d'une fente annulaire

très-étroite, au-dessus de laquelle est placée une cloche en bronze, à bords amincis. En ouvrant un robinet ou une valve qui remplit la même fonction, la vapeur vient frapper la cloche et la fait vibrer.—Quelquefois on adopte, pour un même chemin de fer, deux sifflets de forme et de sons différents ; l'un est appliqué aux trains de voyageurs, l'autre aux trains de marchandises ; cette différence est utile pour le service de l'exploitation, *fig.* 1, *pl.* 72.

8° Robinets et bouchons de vidange. — Indépendamment du bouchon qui occupe la place d'un tube dans la boite à fumée et qui sert pour le nettoyage du corps cylindrique, on place des *bouchons* taraudés, ou des bouchons autoclaves, aux quatre angles de la boite à feu extérieure, pour en extraire les dépôts et arracher, autant que possible, les incrustations, au moyen de burins et de tringles en fer. Les bouchons à vis sont d'un usage commode ; mais, pour éviter leur prompte usure, il faut rapporter, pour leur servir d'écrou, une pièce de fer plus épaisse que la tôle de la boite à feu. -- Quelquefois on place les bouchons sur le cadre qui réunit le foyer et la boite à feu extérieure ; mais on a soin d'en augmenter le nombre.

On dispose, en outre, *fig.* 8 et 9, *pl.* 10, des *robinets de vidange* de chaque côté de la boite à feu extérieure, pour vider la chaudière à chaud ; ils sont manœuvrés à l'aide d'une manette placée sur la plate-forme et au moyen de laquelle le mécanicien peut vider, pendant la marche, une partie de l'eau, quand la chaudière est trop pleine.—Quelquefois on place un robinet de vidange à la hauteur du niveau que l'eau doit occuper dans la chaudière ; on s'en sert pour vider le trop-plein lorsqu'il y a trop d'eau, et pour purger la chaudière lorsque l'eau est chargée de matières grasses, ou émulsives qui font cracher ou primer la machine.

§ 4. — Appareils de prise de vapeur et d'échappement.

La vapeur formée dans la chaudière doit être conduite aux cylindres et, après avoir agi sur les pistons, s'échapper dans la che-

minée où elle produit le tirage ; il résulte de là un ensemble de dispositions spéciales qui réclament toute l'attention du constructeur ; ces dispositions doivent être, en effet, combinées de telle sorte que la vapeur entraîne avec elle le moins d'eau possible, et que, en s'échappant, elle produise, derrière les pistons, la moindre résistance possible. Ces détails préoccupent toutes les personnes qui se livrent à la construction des machines locomotives, c'est peut-être l'un des points sur lesquels il reste le plus à faire.

1° Dome de prise de vapeur.— Indépendamment de la partie supérieure de la chaudière qui forme réservoir de vapeur, on dispose presque toujours une capacité additionnelle dans laquelle est puisée la vapeur qui se rend aux cylindres ; elle n'a pas seulement pour objet d'augmenter la dimension du réservoir de vapeur, qui doit être dans un certain rapport avec la dépense faite à chaque coup de piston ; elle a pour but principal de relever à une certaine hauteur, au-dessus de la surface de l'eau, l'origine du *tuyau de prise de vapeur*. Le mouvement de translation de la machine agite l'eau ; l'ébullition très-active et très-tumultueuse, dans un espace aussi restreint qu'une chaudière de locomotive, projette des gouttelettes d'eau qui peuvent être entraînées, par le courant de vapeur, vers l'issue qui lui donne passage pour aller aux cylindres ; les matières grasses, les dépôts vaseux qui se trouvent dans la chaudière tendent à rendre l'eau mousseuse et facilitent encore son entraînement, et lorsque cet entraînement mécanique a lieu dans une proportion un peu considérable, l'eau s'échappe sous forme de pluie par la cheminée ; on dit alors que la machine *crache* ou *prime*.

On doit s'attacher à rendre l'entraînement de l'eau liquide aussi faible que possible, car l'eau dépensée inutilement a toujours occasionné une certaine dépense pour être approvisionnée dans les réservoirs ; elle a besoin d'être renouvelée fréquemment, ce qui occasionne des pertes de temps pendant le trajet ; elle ne s'échappe qu'après avoir absorbé une quantité notable de la chaleur développée dans le foyer ; elle augmente la densité de la vapeur et, par

suite, les frottements dans les conduites, et empêche de profiter, dans les cylindres, de toute la pression qui correspond à la tension de la vapeur produite dans la chaudière ; elle crée, par le même motif, des résistances très-considérables derrière le piston, par le frottement développé à son passage dans les lumières et dans le tuyau d'échappement ; elle se vaporise en partie pendant la période d'échappement, au moment où la pression diminue, et elle refroidit les cylindres ; enfin, et c'est là le moindre des inconvénients, elle entraîne, en s'échappant par la cheminée, des gouttes de boue qui couvrent la machine et les voitures, ce qui nécessite des nettoyages fréquents et, par suite, un surcroît de frais. L'eau introduite dans les cylindres y joue un rôle essentiellement nuisible ; on verra, lorsque nous rapporterons les résultats constatés par l'expérience, jusqu'à quel point elle augmente la pression derrière le piston ; pour se réduire en vapeur, lorsque la tension diminue pendant la période d'échappement, elle absorbe une quantité considérable de chaleur latente qu'elle emprunte à la masse même des cylindres, et qui n'est restituée à ceux-ci que par la condensation d'une quantité équivalente de vapeur arrivant de la chaudière; l'entraînement de l'eau, indépendamment de ses effets mécaniques, a donc encore pour résultat de faire perdre une partie de la vapeur produite dans la chaudière, qui se condense à son entrée dans les cylindres. Il ne suffit donc pas que la machine ne prime pas, car il peut y avoir encore une grande quantité d'eau entraînée par la vapeur, sans que ce signe se manifeste ; il faut que la vapeur soit aussi sèche que possible.

Le *dôme de prise de vapeur* est construit, avons-nous dit, pour prévenir l'entraînement de l'eau. L'une des formes les plus simples, si elle n'avait pas souvent pour résultat de nuire à la bonne répartition du poids de la machine, et si elle ne présentait pas un grave inconvénient par sa position même, serait celle que Stephenson a introduite le premier et appliquée à toutes ses machines ; elle a été très-fréquemment employée jusqu'ici (*fig.* 1, *pl.* 5). Une autre disposition, également simple, consiste à placer, sur le cylindre qui recouvre le foyer, ou sur le corps cylindrique lui-même, un

réservoir cylindrique, surmonté d'une calotte semi-sphérique, ou d'un segment de surface sphérique; quelquefois même, en donnant au métal une épaisseur suffisante, on emploie, comme fermeture, un fond presque plat (voir *fig.* 1, *pl.* 6). La hauteur du dôme cylindrique est d'environ 1^m au-dessus de sa base.

Quelques constructeurs ont mis deux dômes, l'un au-dessus du foyer, l'autre sur le milieu ou vers l'avant du corps cylindrique; d'autres enfin ont supprimé toute espèce de dôme, en ayant recours à un tuyau de prise de vapeur de forme spéciale que nous décrirons plus loin.

La position du dôme de prise de vapeur, c'est-à-dire du point vers lequel doit affluer la vapeur produite dans toute l'étendue de la chaudière, est d'une grande importance. Si l'on prend la vapeur au-dessus du foyer, l'orifice du tuyau de conduite se trouve dans une partie où l'ébullition est nécessairement très-tumultueuse, et les chances d'entraînement de l'eau sont augmentées; en outre toute la vapeur formée dans la partie cylindrique vient affluer vers le foyer, et rejette, dans l'intervalle compris entre les deux boîtes à feu, les dépôts vaseux et les incrustations qui se détachent spontanément de la surface des tubes; enfin, l'aspiration produite par le tuyau de prise de vapeur et dont les effets sont surtout sensibles dans le voisinage immédiat de son embouchure, détermine une tuméfaction de la masse d'eau au-dessus du foyer, de telle sorte que, dès que le régulateur est fermé, le niveau de l'eau s'abaisse dans le tube indicateur, et que, si le mécanicien n'a pas suffisamment alimenté, le foyer, qui était couvert d'eau, peut se trouver découvert et recevoir un coup de feu. Au contraire, lorsque le dôme de prise de vapeur est sur le corps cylindrique, au milieu ou vers l'avant, il correspond à un point où l'ébullition est très-faible, peut-être nulle, et où les chances de projection d'eau sont moindres; le bouillonnement de l'eau rejette sans cesse les dépôts vers l'avant, là où les parois ne sont plus fortement échauffées; enfin, le mécanicien est moins exposé à voir le foyer se découvrir au moment de l'arrêt, s'il a eu soin de le tenir couvert pendant la marche, car la tuméfaction qui se produit au droit du

dôme tend à déterminer une dépression équivalente dans les régions du foyer, dépression qui disparait dès que le régulateur est fermé. — Les considérations qui précèdent établissent, d'une manière incontestable, qu'il y a tout avantage à mettre le dôme de prise de vapeur sur le corps cylindrique, entre le milieu et l'extrémité d'avant, plutôt que de le placer au-dessus du foyer, comme l'ont fait systématiquement beaucoup de constructeurs; elles doivent rendre circonspect dans l'application du dôme à base carrée de Stephenson.

Si les tubes et l'eau occupent une grande partie de la capacité de la chaudière, et s'il ne reste qu'un espace d'une petite hauteur, pour livrer passage au courant de vapeur qui se précipite vers l'orifice d'écoulement, cette circonstance peut devenir une nouvelle cause d'entrainement de l'eau; il conviendrait peut-être mieux, dans ce cas, de placer le dôme de prise de vapeur sur le foyer que sur le corps cylindrique; mais ce qui vaudrait mieux encore, serait de disposer deux dômes séparés, l'un au-dessus du foyer, l'autre vers le milieu ou l'avant du cylindre, afin d'éviter l'établissement d'un courant très-rapide dans un espace très-restreint; le tuyau de prise de vapeur porterait, dans ce dernier cas, deux branches, correspondant chacune à l'un des dômes de prise de vapeur. Cette dernière disposition, que l'on trouve dans quelques anciennes machines, trouverait une application utile sur un grand nombre de machines actuellement en service sur différents chemins de fer.

Lorsqu'on donne au dôme la forme d'un cylindre, placé sur la boîte à feu extérieure ou sur la partie cylindrique, on le sépare en deux parties par un joint boulonné, et il sert de trou d'homme.

2° Tuyau de prise de vapeur et régulateur. — Le tuyau de prise de vapeur se compose d'une partie horizontale en cuivre, que l'on fait entrer par un trou ménagé dans la plaque tubulaire de la boîte à fumée, lorsqu'il est trop long pour être introduit par le trou d'homme; il s'assemble sur cette plaque au moyen d'une bride et de boulons; la portion qui se relève pour monter à la partie supérieure du dôme de prise de vapeur est également en cuivre rouge lorsqu'elle ne porte pas le *régulateur*; dans le cas contraire, elle

est en fonte ou en laiton. Dans ce dernier cas, la partie supérieure du tuyau de prise de vapeur doit être solidement attachée dans le dôme, où elle repose sur des traverses en fer forgé *(fig. 3 et 4, pl. 12)*. Lorsque le dôme est au-dessus du foyer, le tuyau de prise de vapeur a une grande longueur et il devient sensible aux effets de la dilatation ; le joint qui réunit ces deux parties doit être exécuté avec le plus grand soin ; on le fait au moyen de brides en fer et de boulons, ou au moyen de l'emmanchement conique représenté *fig. 5, pl. 12*. La difficulté de ce joint résulte de la nécessité de l'exécuter dans l'intérieur même de la chaudière, sans autre moyen d'accès que le trou d'homme. Lorsque le régulateur est placé près de la boîte à fumée, le tuyau de prise de vapeur est tout entier en fonte *(fig. 3 et 4, pl. 11)*.

Le tuyau de prise de vapeur, à son entrée dans la boîte à fumée, se bifurque pour se rendre aux deux cylindres ; la bifurcation s'opère dans une culotte en fonte qui est fortement boulonnée sur la plaque tubulaire ; les tuyaux de conduite sont en cuivre rouge et viennent s'assembler par joints à bride sur les tubulures que portent à cet effet les boîtes de tiroirs des cylindres. Lorsque les deux cylindres ont leurs tiroirs verticaux et une boîte de tiroirs commune, on peut se contenter de placer un seul tuyau dans la boîte à fumée, la culotte de bifurcation se réduisant à un simple coude. Les tuyaux de prise de vapeur, placés dans la boîte à fumée, se courbent pour suivre le contour de ses parois, afin de ne pas masquer les tubes *(fig. 2, pl. 9)*. Tous les joints de la conduite de vapeur doivent être exécutés avec le plus grand soin, car c'est souvent par là que manquent les machines en service.

La section intérieure des tuyaux de prise de vapeur varie de 1/10 à 1/12 de celle de chaque cylindre ; celle des tuyaux de bifurcation doit être égale à la moitié au moins de la précédente.

Le tuyau intérieur, lorsqu'il porte le régulateur à son origine, doit être d'une épaisseur suffisante pour résister à la pression qu'il supporte extérieurement, toutes les fois que la machine est au repos ; la partie horizontale en cuivre rouge a de 0^m 003 à 0^m 005 d'épaisseur ; les tuyaux de la boîte à fumée, bien que ne résistant

qu'à la pression intérieure, ont généralement les mêmes dimensions.

Le tuyau de prise de vapeur de la machine Crampton a une forme particulière *(fig. 3 et 4, pl. 13)*; il occupe toute la longueur de la chaudière et se raccorde dans un point voisin de l'extrémité d'avant avec une boîte en fonte placée à l'extérieur, et qui comprend le régulateur ; il est percé, à sa partie supérieure, d'une fente longitudinale qui règne sur toute sa longueur, et, par suite, il puise la vapeur dans toute l'étendue de la chaudière; le dôme de prise de vapeur est supprimé. Si la largeur de la fente en chaque point était calculée en rapport avec la distance au régulateur et avec la résistance que le frottement oppose à l'écoulement de la vapeur, et, en outre, en rapport avec l'importance de la vaporisation en chaque point, la masse d'eau ne tendrait pas à se tuméfier et le niveau d'eau ne présenterait pas de variation sensible lorsque la machine passerait de l'état de mouvement à l'état de repos. Mais la plus grande quantité de vapeur étant formée au contact des parois du foyer, on serait conduit à donner à cet endroit une ouverture considérable à la fente du tuyau, et il s'établirait vers cette fente un écoulement très-rapide de vapeur qui entraînerait nécessairement beaucoup d'eau ; il vaut mieux, dans la pratique, arranger les choses pour qu'elles se fassent à peu près comme s'il y avait un dôme de prise de vapeur vers l'avant de la chaudière, et pour cela conserver à la fente une longueur uniforme Quoi qu'il en soit, l'expérience démontre que lorsque la chambre de vapeur n'a pas une dimension suffisante, lorsque le tuyau de prise de vapeur n'est pas assez élevé au-dessus du niveau de l'eau, il y a un entraînement d'eau considérable ; il en est de même lorsque l'eau est sale et lorsque la machine est, par suite, prédisposée à primer. On peut admettre, en effet, qu'il existe dans la chaudière entre l'eau et la vapeur un mélange de vapeur et d'eau incessamment projetée par l'ébullition ; toutes les fois que la prise de vapeur de Crampton sera plongée dans cette zone intermédiaire, elle donnera passage à une très-grande quantité d'eau liquide. Cette disposition n'est donc pas un palliatif souverain, comme l'ont cru quelques personnes, contre l'inconvénient de l'entraînement de l'eau ;

si elle est avantageuse dans les machines qui ont un grand réservoir de vapeur, elle peut être au contraire nuisible dans d'autres machines.

Il faut accepter comme une nécessité l'entraînement de l'eau par la vapeur, dans une chaudière de machine locomotive, appareil très-puissant quant à l'activité de la vaporisation, mais très-restreint quant aux dimensions, et dans lequel l'agitation de la masse d'eau est encore augmentée par le mouvement de translation de la machine, et par les secousses de toute nature qui en sont la conséquence ; l'entraînement de l'eau, qu'il se révèle ou non par une pluie à l'extérieur, a toujours lieu plus ou moins. Lorsque l'on construit une machine, on doit s'appliquer à ménager au-dessus de l'eau un espace d'une capacité et surtout d'une hauteur assez grandes, pour prévenir les conséquences d'une ébullition rapide, les projections des gouttelettes d'eau vers le régulateur, et l'entraînement de celles qui sont momentanément en suspension dans l'atmosphère de la chaudière. — Mais, lorsqu'une chaudière est construite ou que des conditions particulières de construction forcent à réduire les dimensions que demande le réservoir de vapeur, le but qu'on doit se proposer est de produire à l'entrée du tuyau de prise de vapeur ou sur un point intermédiaire de sa longueur, une séparation mécanique de l'eau et de la vapeur mélangées ; de renvoyer l'une dans la chaudière et de conduire l'autre vers les cylindres.

On a proposé et essayé de dessécher la vapeur par l'action de la chaleur, en la surchauffant dans le trajet qu'elle effectue pour aller aux cylindres ; cette méthode est susceptible de réussir dans les machines fixes, où l'ébullition est moins tumultueuse, où l'entraînement de l'eau est en quelque sorte normal et ne varie pas dans des limites considérables sous l'influence des causes accidentelles, où le niveau de l'eau peut être maintenu au point convenable avec une grande régularité, où le graissage des pistons se fait d'une manière très-complète ; mais on ne devrait y recourir, dans les machines locomotives, qu'avec une grande circonspection, et à défaut d'autre moyen efficace.

La séparation mécanique de l'eau et de la vapeur peut être basée

sur la différence de densité de ces deux fluides; si l'on imprime à leur mélange une grande vitesse et qu'on lui fasse subir un changement brusque de direction, la vapeur, dont la densité est très-faible, s'infléchira immédiatement pour suivre la direction la plus courte vers l'orifice d'écoulement, tandis que les gouttelettes d'eau, en vertu de la vitesse acquise, continueront à suivre leur direction initiale et se trouveront soustraites à l'action du courant qui les entraînait. Un appareil construit sur ce principe a été appliqué à la première machine locomotive exécutée en France, par M. H. Edwards.

Malgré l'abaissement de pression qui résulte de cette disposition, quelques essais entrepris récemment ont donné des résultats satisfaisants et indiquent que, dans certaines circonstances, il y a des avantages à recueillir de l'application de ce principe, qui peut être réalisé sous des formes très-diverses. Les *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 13, représentent la disposition essayée sur la machine la *Victorieuse* du chemin de fer de Versailles (rive gauche). Le tuyau de prise de vapeur, qui s'élève jusqu'à la partie supérieure du dôme, a son orifice fermé par une sorte de chapeau renversé qui l'embrasse sur une hauteur d'environ 0^m,220; le tuyau de prise de vapeur, à sa partie supérieure, et sous le chapeau qui le recouvre, est percé d'une série de fentes verticales en forme de lanterne; le tout est enveloppé d'un tuyau concentrique qui vient se réunir au tuyau principal, au point où celui-ci se raccorde par un joint à bride avec sa partie horizontale. Un tuyau de retour d'eau de 0^m,03 de diamètre intérieur s'embranche sur cette enveloppe et vient plonger dans la chaudière au-dessous du niveau habituel de l'eau. Entre l'enveloppe et le chapeau qui recouvre la prise de vapeur, est un conduit annulaire dans lequel passe le mélange d'eau et de vapeur, qui y prend une grande vitesse, dirigée dans le sens vertical de haut en bas; la vapeur s'infléchit brusquement pour remonter vers la lanterne qui lui donne accès dans le tuyau de prise de vapeur, tandis que l'eau est projetée, en vertu de sa vitesse acquise, et vient se réunir dans le réservoir compris entre le tuyau et l'enveloppe, pour retourner à la chaudière. Tel doit être le jeu de cet appareil, et le succès obtenu dans les pre-

mières applications qui en ont été faites semble prouver que les choses se passent en réalité comme on vient de l'indiquer.

Le *régulateur* sert à ouvrir et fermer le passage de la vapeur de la chaudière aux cylindres ; il se compose d'un tiroir glissant sur une table dans laquelle sont percées des lumières qui forment l'orifice du tuyau de prise de vapeur. Ce tiroir affecte quelquefois, dans les anciennes machines, la forme d'un *disque* à plusieurs ailes, qui prend un mouvement de rotation, pour ouvrir et découvrir les orifices percés sur un plateau circulaire (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 12). Lorsque le régulateur est formé par un tiroir, celui-ci se trouve placé verticalement (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 15, et *fig.* 3 *et* 4, *pl.* 12) ou horizontalement (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 15), et quelquefois, sur un plan oblique à l'horizon. Le disque à ailes, qui prend le nom de ***papillon***, ou le tiroir vertical doit être soutenu par un ressort qui le maintient, lorsque la machine est en feu. Ce ressort est encore destiné à permettre à l'air et à la vapeur refoulés par la marche à contre-vapeur, de rentrer dans la chaudière ; pour cela, on doit laisser au tiroir un jeu de 0^m 003 à 0^m 004 dans ses guides ; c'est l'existence de ce jeu qui rend surtout nécessaire l'interposition du ressort.

Le régulateur est placé sur l'orifice même de la conduite, ou intercalé dans une partie de son parcours. Dans le premier cas, il est commandé par une tige de fer dont l'extrémité s'appuie sur une crapaudine venue de fonte avec le tuyau de prise de vapeur, et qui sort à l'arrière de la chaudière, à travers un presse-étoupes ; une manette fixée sur cette tige sert au mécanicien pour la faire tourner, et, dans son mouvement de rotation, elle entraîne une manivelle qui commande une bielle dont l'extrémité s'attache au tiroir et le fait marcher (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 12). Si le régulateur est formé par un papillon ou par un tiroir horizontal, la tige commande un parallélogramme qui transmet directement le mouvement de rotation (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 12), ou qui imprime un mouvement de va-et-vient au tiroir (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 12), par l'intermédiaire d'une came ou d'un secteur denté.

Lorsque le régulateur est intercalé dans la conduite, la tige

9

passe dans un second presse-étoupes pour pénétrer dans la boite qui le renferme ; le mouvement de va-et-vient du tiroir est alors produit par un écrou et une vis filetée sur la tige du régulateur, ou par une manette extérieure agissant comme un levier. Ces dispositions peuvent, du reste, varier à l'infini ; les premiers régulateurs étaient de simples robinets ; on a employé des soupapes, des vannes, etc. ; la disposition qui a prédominé est celle du tiroir dont la forme est du reste elle-même très-variable.

La prise de vapeur de la machine Crampton (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 13) se compose d'une boite en fonte placée sur le corps cylindrique, fermée à sa partie supérieure par un couvercle plat, présentant à la partie inférieure une sorte de tubulure dans laquelle vient passer le tuyau de prise de vapeur qui se prolonge, de part et d'autre, sur toute la longueur de la chaudière ; les tuyaux, qui conduisent la vapeur aux cylindres juxta-posés à la chaudière, viennent s'embrancher sur les côtés de cette boite dans laquelle ils débouchent chacun par deux lumières de forme pentagonale ; un double tiroir commandé par une tige unique, couvre et démasque à la fois ces deux lumières ; la forme de celles-ci permet de ne donner à la vapeur qu'une issue extrêmement étroite au départ du tiroir, avantage qui n'est pas obtenu avec les lumières ordinaires à orifices rectangulaires. La tige du régulateur est guidée dans une direction rectiligne et porte une coulisse commandée par une petite manivelle montée sur un arbre qui fait tourner un volant placé en guise de manivelle à la main du mécanicien (*fig.* 1, *pl.* 66).

Dans tous les cas, l'ensemble des dispositions de la machine doit être combiné de telle sorte que la visite du régulateur soit toujours facile, car il exige de fréquentes réparations, et il importe que sa fermeture soit toujours très-exacte et, par conséquent, que les surfaces de contact restent parfaitement planes et polies. Quelques constructeurs ont placé le régulateur dans la boite à fumée ; cette disposition, à côté de certains avantages, a des inconvénients marqués ; elle augmente le volume de la culotte de distribution ; les joints sont altérés par l'action du feu ; le montage et le démontage en sont difficiles ; le tiroir grippe sur sa table, etc.

Si l'on cherchait à reproduire cette disposition, on devrait la combiner avec la modification de la boîte à fumée que nous avons indiquée page 109. La boîte du régulateur serait soustraite à l'action du feu et serait d'une réparation facile.

Les constructeurs s'appliquent, en général, à donner aux lumières du régulateur une section supérieure à celle du tuyau de prise de vapeur qui a lui-même une section égale à 1/10 de l'aire de chaque piston ; cette condition n'est pas indispensable, lorsque le régulateur est placé à l'origine du tuyau, car, excepté dans la marche à forte détente, les conducteurs de machines n'ouvrent jamais le régulateur au-delà de la quantité strictement nécessaire pour donner une libre issue à la vapeur, afin d'éviter l'entraînement de l'eau, qui a lieu d'autant plus facilement que les affaiblissements de pression qui résultent de l'émission rapide de la vapeur dans les cylindres sont plus fréquents et plus instantanés,

La masse d'eau éprouve une tuméfaction d'autant moins forte que l'écoulement de la vapeur produite est plus régulier. Enfin pour ce genre de régulateur, on comprend que la résistance au mouvement, que la vapeur éprouve dans un orifice percé en quelque sorte en mince paroi, soit très-faible à côté de celle que détermine le frottement dans un tuyau d'une assez grande longueur. Les mêmes motifs n'existent plus pour un régulateur intercalé dans la conduite, il faut lui donner une large section pour atténuer, autant que possible, l'effet des changements brusques de direction et des remous qu'il occasionne.

La boîte du régulateur et la table qui le supporte sont en fonte, d'une seule pièce; le tiroir, ou la pièce qui en tient lieu, est en fonte ou mieux en bronze, ce dernier métal étant moins disposé à gripper.

3° Tuyau d'échappement. — La vapeur sortant de chaque cylindre, après avoir traversé la lumière d'échappement, passe par une tubulure sur laquelle vient s'attacher le tuyau d'échappement, par un joint à bride. Les deux tuyaux d'échappement viennent se réunir en un seul, qui se rétrécit à son orifice pour former la tuyère. La réunion a lieu près de l'orifice de sortie, dans la che-

minée ou près des cylindres. Dans le premier cas, chaque tuyau rampe isolément le long des parois de la boite à fumée, et la jonction s'opère dans une culotte en fonte qui est attachée par des boulons à la culotte des tuyaux de distribution ; dans le second cas, une culotte en fonte est fixée sur les deux tubulures des cylindres et reçoit le tuyau d'échappement, qui est commun. Chaque disposition a ses avantages et ses inconvénients : la première (*fig.* 2, *pl.* 9 ; *fig.* 3, *pl.* 59 ; *fig.* 2, *pl.* 54 ; *fig.* 2, *pl.* 57) isole plus complétement les deux jets de vapeur et empêche mieux la vapeur d'un cylindre de réagir sur le piston de l'autre cylindre, mais elle obstrue l'orifice de la cheminée ; la seconde (*fig.* 3, *pl.* 65 ; *fig.* 3, *pl.* 68) présente l'inconvénient et l'avantage inverses de la première disposition. L'expérience n'a pas encore fixé les constructeurs sur le mérite comparatif des deux systèmes, ce qui semble indiquer que les motifs de préférence se balancent sensiblement. Le premier est du reste le seul qui puisse être appliqué lorsque les cylindres sont extérieurs.

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, on rend variable la section de l'orifice d'échappement. La disposition la plus simple consiste à terminer la *tuyère* ou partie supérieure du tuyau d'échappement par un ajutage rectangulaire, formé de deux faces planes et parallèles, entre lesquelles on fait mouvoir deux valves légèrement cintrées, qui, en se rapprochant ou en s'écartant, font varier la section de l'orifice, sans que l'axe du jet de vapeur cesse de coïncider avec celui de la cheminée. Chaque valve est montée à sa partie inférieure sur un axe en fer, soutenu par deux oreilles venues à la fonte sur les faces latérales et fixes. Les deux axes sont reliés entre eux par des leviers ou des secteurs dentés qui leur impriment un mouvement symétrique de part et d'autre de l'axe de la tuyère. Ce mouvement est transmis par une tringle dont l'extrémité est à la main du mécanicien, et qui est guidée par des supports sur le flanc du corps cylindrique où elle sert de main courante. Il convient, pour dégager la base de la cheminée et pour rendre le jeu du mécanisme plus facile, de prolonger les axes des valves mobiles à l'extérieur de la boite à fumée, et de placer en dehors les leviers

ou les secteurs dentés qui les font mouvoir (*fig.* 1, *pl.* 69; *fig.* 1, *pl.* 70). Il faut, dans tous les cas, que l'assemblage des valves sur le tuyau d'échappement soit fait avec le plus grand soin et avec des emmanchements solides, car des fuites sur les côtés et par les joints peuvent nuire d'une manière très-notable au tirage, en contrariant l'effet du jet de vapeur.

La tringle qui transmet le mouvement reçoit un mouvement de va-et-vient, soit au moyen d'une manivelle qui sert à la tirer et à la repousser, soit au moyen d'un petit volant qui la fait tourner et d'un écrou fixe qui agit sur une vis filetée sur la tringle elle-même. Cette dernière disposition est la meilleure, car elle permet de faire varier par degrés insensibles, et de régler au point convenable l'orifice d'échappement.

L'échappement doit être aussi direct que possible, et se faire par une conduite d'égale section dans toute son étendue, sans étranglement. Cette double condition doit être prise en grande considération lorsque l'on trace le plan des cylindres. Le tuyau doit pénétrer de quelques centimètres seulement dans la cheminée, dont il convient d'évaser la base, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, pour que le passage des gaz chauds ne soit pas trop étranglé. On ne saurait, du reste, indiquer de règle précise à ce sujet, les constructeurs adoptant des dispositions qui varient à l'infini. C'est cependant un des points les plus importants de la construction des machines locomotives, une petite différence de forme, quelques centimètres de plus ou de moins dans les dimensions des pièces pouvant exercer une influence très-marquée sur le tirage.

Lorsque le tuyau d'échappement est unique et placé dans l'axe de la boite à fumée, il convient de lui donner une forme elliptique dans toute la partie qui correspond aux tubes, afin de faciliter le nettoyage de ceux-ci (*fig.* 6 *et* 7, *pl.* 13). La section du tuyau d'échappement est habituellement, pour chaque cylindre, égale à celle du tuyau de prise de vapeur, c'est-à-dire à environ 1/10e de l'aire du piston; si le tuyau est commun, cette section doit être doublée. Ces dimensions doivent, du reste, varier avec les dispositions générales de la machine et avec la nature du combus-

tible; si le coke est de très-bonne qualité, et si le volume des cylindres est faible relativement à la surface de chauffe, il n'est pas nécessaire de disposer l'échappement de manière à produire un tirage artificiel très-énergique; il faut laisser une très-large section aux tuyaux qui donnent issue à la vapeur et à l'orifice de la tuyère, qui peut atteindre le diamètre de 0m 12 à 0m 15. Il n'y a même, dans ce cas, qu'un médiocre intérêt à rendre l'échappement variable, car c'est moins la section de l'orifice supérieur que celle des lumières du cylindre et de la partie de la conduite adhérente au cylindre qui influe sur la pression résistante, derrière le piston. Dans le cas contraire, il faut compenser par l'énergie du tirage l'insuffisance de la surface de chauffe, et faire passer de force, pour ainsi dire, l'air à travers le combustible, dont les cendres et le mâchefer rendent la masse moins perméable. Il faut éviter de donner un trop grand volume aux conduites, parce que la vapeur, en sortant du cylindre, s'y détendrait et ne conserverait plus une vitesse suffisante en arrivant à la cheminée. Par le même motif, il faut rétrécir l'orifice de la tuyère, et lui donner seulement 0m 07 à 0m 08 de diamètre, si sa section n'est pas variable. C'est dans ce cas surtout que l'échappement variable peut rendre de grands services. Ce qui précède explique pourquoi les Anglais n'ont pas habituellement fait usage de l'échappement variable, qui a été, au contraire, adopté d'une manière générale en France.

L'emploi du tuyau d'échappement variable exige une certaine habileté de la part des mécaniciens, qui ne doivent resserrer l'orifice qu'autant qu'il est nécessaire de le faire pour maintenir la tension de la vapeur au point convenable, qui doivent prévoir les causes qui tendent à la faire baisser et les prévenir par une augmentation modérée du tirage, sans attendre qu'elle soit tombée tout à fait pour réduire à sa dernière limite la section de la tuyère. Un tirage trop actif entraîne de petits fragments de coke qui bouchent les tubes, des cendres à moitié fondues qui s'attachent aux viroles et obstruent l'orifice des tubes. C'est dans un cas extrême seulement que l'on doit serrer complétement les valves mobiles et imprimer au tirage toute l'énergie possible.

§ 3. — Alimentation.

1° Pompes alimentaires. — Il existe deux systèmes distincts de pompes alimentaires : les unes sont à grande course et commandées directement par les tiges de piston ; les autres sont à petite course et commandées par les excentriques de la distribution. — Nous décrirons le premier en détail, et nous indiquerons ensuite quelles sont les dispositions spéciales qui caractérisent le second.

Le *corps de pompe* est en bronze ou en fonte ; il est fixé au châssis à l'intérieur ou à l'extérieur, suivant la position des cylindres ; son axe est parallèle à celui du cylindre. La pompe est à simple effet, et le piston est formé par un *plongeur*, tige cylindrique de 0^{m} 04 à 0^{m} 06 de diamètre, fixée sur la coquille ou tête de la tige du piston (*fig.* 1, *pl.* 14, *et fig.* 2, 9, 10 *et* 11, *pl.* 21). L'emmanchement du plongeur avec la coquille a lieu au moyen d'un petit levier calé sur l'extrémité du boulon qui réunit la bielle motrice à la tige du piston, ou venu de forge sur ce boulon, ou bien encore appliqué directement sur le prolongement même de ce boulon. Le plongeur est en fer, en acier ou en bronze.

Le corps de pompe est pourvu d'un *presse-étoupes* dans lequel se meut le plongeur, et qui lui sert de guide ; son diamètre excède de 0^{m} 003 à 0^{m} 004 seulement celui du plongeur, car il importe de ne pas laisser séjourner dans la pompe une trop grande quantité d'eau, qui peut devenir, pendant les gelées, une cause de rupture.

La *chapelle* de la *soupape d'aspiration* est fondue avec le corps de pompe, ou rapportée au moyen d'un assemblage à bride et à boulons (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 14) ; elle est placée à son extrémité, au-dessous ou sur le côté ; elle doit, autant que possible, être disposée pour que la soupape puisse être visitée et réparée sans qu'il soit pour cela nécessaire de démonter autre chose qu'un bouchon à vis ou un couvercle maintenu par une vis de pression et un étrier. La soupape est à *clapet* ou à *boulet*. La première se compose d'un disque en bronze (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 14 ; *fig.* 1, 2, 5 *et* 6, *pl.* 15), présentant une partie conique qui repose sur le *siége*, et qui forme

la fermeture au repos ; elle porte quatre *ailettes*, glissant à frottement doux dans une partie cylindrique qui termine la conduite d'aspiration et qui est percée dans le bloc de métal formant le siége de la soupape. La soupape porte donc avec elle-même son guide. Le siége est en bronze; il fait corps avec la chapelle lorsque celle-ci est elle-même en bronze; il est rapporté lorsqu'elle est en fonte et qu'elle dépend du corps de pompe.

La soupape à boulet (*fig.* 4 *et* 5, *pl.* 14 ; *fig.* 3 *et* 4, *pl.* 15) se compose d'une sphère en bronze, creuse à l'intérieur ou pleine, suivant sa dimension, qui repose, comme la précédente, sur un siége en bronze, tourné au contact suivant une zone de surface sphérique. Le boulet est prisonnier dans une espèce de cloche à jour, qui lui sert de guide et limite sa course. Cette cloche est vissée sur le siége de la soupape ou attachée au couvercle qui ferme la chapelle. Les clapets, dans le premier système, ont également leur course limitée par un arrêt fixé au couvercle.

La *soupape de refoulement* est construite exactement comme celle d'aspiration, mais, généralement, la boîte ou chapelle qui la renferme est rapportée ; elle est placée comme elle à l'extrémité, mais en contre-haut du corps de pompe. On met habituellement deux soupapes de refoulement, l'une au-dessus de l'autre, pour remédier au dérangement fréquent que ces pièces peuvent éprouver. On place en outre très-près de la chaudière, pour retenir l'eau qu'elle renferme, en cas de rupture ou de réparation de la pompe, une troisième soupape ou un robinet ; quelquefois, on se contente de reporter la deuxième soupape de refoulement très-près de la chaudière ; mais cette disposition ne doit pas être recommandée, car l'espace compris entre les deux clapets de refoulement doit être aussi restreint que possible.

Le *tuyau d'épreuve* prend son origine entre les deux soupapes de refoulement ; il est très-court, et le robinet qui sert à le manœuvrer porte une longue tringle dont la poignée est à la portée du mécanicien, ou bien il est très-long et vient se terminer au garde-corps, de telle sorte que le robinet lui-même soit sous la main du mécanicien. Dans ce dernier cas, il est nécessaire que le tuyau

soit très-solide et fortement assujetti dans toutes ses parties, car les chocs que l'eau lui imprime le dégradent facilement, et, en outre, il est exposé à geler pendant l'hiver. Le tuyau d'épreuve est en même temps un tuyau d'amorce et de purge, lorsque l'air s'est introduit entre les clapets, ou que le clapet supérieur ferme mal et laisse arriver la vapeur de la chaudière entre les deux clapets. Il est donc nécessaire, comme nous l'avons déjà dit, que l'espace compris entre les deux clapets soit le moindre possible, afin que le tuyau d'épreuve puisse purger facilement la capacité sur laquelle il est placé ; dans tous les cas, il doit être placé très-près de la soupape supérieure.

La course des plongeurs varie, comme celle des pistons, de 0^m 46 à 0^m 70. La levée des clapets ou des boulets ne doit guère excéder 0^m 02; elle est même réduite à 0^m 012 dans les pompes du chemin de fer du Nord (*fig.* 4, *pl.* 14); car le retard à la fermeture au moment de l'aspiration est l'une des causes principales qui réduisent l'effet utile des pompes. Il faut, en même temps que l'on restreint la levée, dégager, autant que possible, l'issue qui reste ouverte à l'eau, pour que la contraction qu'éprouve la veine fluide développe le moins possible de résistance à son mouvement et nuise le moins possible au rendement. Le nombre des joints doit être réduit autant que le permettent les nécessités de la construction, et leur confection doit être l'objet des plus grands soins, car les chocs multipliés que tout le système éprouve occasionnent de fréquentes dégradations.

Les pompes à petite course ne peuvent être employées que lorsqu'il existe une assez grande distance entre l'essieu moteur et le foyer; elles ne diffèrent essentiellement des précédentes que par les dimensions du plongeur et le mode adopté pour lui imprimer son mouvement de va-et-vient. Le plongeur est en fonte; il est guidé par un long presse-étoupes (*fig.* 4 *et* 5, *pl.* 14; *fig.* 5 *et* 6, *pl.* 15). Il est creux et pourvu d'un double fond dans lequel passe un boulon dont la tête est disposée en forme de fourche pour recevoir la *bielle motrice*. Celle-ci est attachée à l'excentrique de la marche en arrière, qui travaille et fatigue moins que l'excentrique

de la marche en avant. La course est égale au double du rayon d'excentricité, et varie de 0m 110 à 0m 140; son diamètre est habituellement de 0m 10. La bielle qui commande le plongeur doit avoir au moins 0m 50 de longueur. Quelquefois, à défaut d'un espace suffisant, on a placé ces pompes en avant de l'essieu moteur, mais cette disposition est exceptionnelle.

Dans la machine de Crampton, où les cylindres sont placés à une grande distance en arrière des roues d'avant, on a placé les pompes en avant des cylindres, et le plongeur est formé par le prolongement même de la tige du piston.

Les pompes sont toujours au nombre de deux, une pour chaque cylindre; cela est nécessaire pour parer aux accidents assez fréquents qu'éprouvent ces appareils et qui en suspendent le jeu. Chaque pompe séparément doit être suffisante pour fournir à elle seule toute l'eau nécessaire; son produit doit même être de beaucoup supérieur à la dépense qui a lieu dans le même temps, de telle sorte qu'il ne soit nécessaire de la faire fonctionner que par intermittence, et pendant au plus un tiers du temps d'activité de la machine.

Le produit théorique de la pompe pendant un temps donné est la somme des volumes engendrés par le plongeur à chacune de ses oscillations; lorsque le plan d'une machine est arrêté, et le volume des cylindres connu, si l'on veut proportionner la dimension des pompes à la dépense de vapeur à effectuer lorsque celle-ci atteint son maximum, on calculera le poids de vapeur correspondant à quatre cylindrées entières, en augmentant de 30 p. 0/0 le nombre déterminé au moyen des données de la table de la page 39, afin de tenir compte de l'eau entrainée; la pompe ne donnant qu'environ 60 p. 0/0 d'effet utile et ne devant fonctionner que pendant un tiers du temps d'activité de la machine, on multipliera par 1,5 et par 3, ou par 4,5, le poids calculé comme on l'a indiqué ci-dessus, en ayant soin de l'exprimer en kilogrammes. Ce nombre représentera en litres le volume que doit engendrer le plongeur, dont la course est donnée et dont le diamètre restera seul à calculer.

2° Tuyaux d'aspiration et de refoulement. — Les pompes puisent leur eau dans le tender au moyen d'un tuyau en cuivre rouge de 0m 004 à 0m 005 de diamètre, et de 0m 0025 à 0m 004 d'épaisseur, qui aboutit au tender, où son orifice peut être fermé à volonté par une soupape, comme nous l'indiquerons plus tard. Chaque pompe a un tuyau distinct. Les besoins du service obligeant à séparer fréquemment le tender de la machine, il est nécessaire d'établir un raccordement d'une forme commode, pour réunir la partie du tuyau d'aspiration qui est fixée à la machine et celle qui est fixée au tender. Pendant longtemps on s'est servi d'un *tuyau en toile* à tissu très-serré, qui était attaché sur le bout du tuyau dépendant du tender, et portait à l'autre extrémité l'écrou d'un *raccord à vis*. Ce raccord s'emmanchait sur l'extrémité filetée de la portion du tuyau attachée à la machine. Cette disposition est simple et économique de construction, mais elle fait perdre un certain temps pour monter et démonter les raccords, et facilite les rentrées d'air. Il faut, en outre, pour cela que les hommes de service qui sont chargés de cette manœuvre s'engagent le corps en partie entre les roues, ce qui n'est pas exempt de danger. Les tuyaux en toile sont coupés un peu plus longs que l'intervalle qu'ils doivent remplir, pour que les déplacements relatifs du tender et de la machine, résultant du mouvement de lacet ou du passage dans les courbes, puissent se produire librement et sans les tendre complétement. Sur le chemin de fer de Saint-Germain, on place dans le tuyau de toile un tuyau en caoutchouc volcanisé, qui rend les fuites d'eau moins fréquentes, qui empêche les rentrées d'air lorsque la pompe fonctionne à vide, qui prévient l'aplatissement du tuyau de toile, et, par suite, l'usure résultant de la déformation indéfiniment répétée qu'il éprouve.

Quelques constructeurs, et entre autres M. Buddicom, ont réuni en un seul, sous la plate-forme du mécanicien, les deux tuyaux d'aspiration, de telle sorte qu'il n'y ait qu'un seul raccord à démonter pour séparer le tender de la machine ; en même temps, ils ont remplacé le tuyau en toile par un *tuyau à rotule* (*fig.* 2 *et* 3, *pl.* 16) composé de deux parties glissant l'une dans l'autre, la partie

mâle étant exactement tournée à la surface, la partie femelle portant un presse-étoupes qui forme joint ; ces deux pièces sont en outre réunies à chacune des parties fixes du tuyau d'aspiration, par un joint à rotule, de telle sorte que la pièce entière puisse se prêter à tous les mouvements relatifs du tender et de la machine. Chacun des tuyaux d'aspiration porte à son origine un robinet dont la tige vient traverser la plate-forme et se terminer par une manette que le mécanicien manœuvre avec la main ou même avec le pied pour régler l'alimentation.

Maintenant, on adopte généralement des tuyaux à rotules construits sur le même principe, mais dans lesquels la partie femelle porte un entonnoir ou pavillon d'environ 0m 20 d'ouverture, qui permet d'y engager la partie mâle, sans recourir à aucune espèce de main-d'œuvre. Les deux parties du tuyau à rotule sont soutenues par des chaînettes qui les maintiennent à peu près à la hauteur qu'elles doivent occuper habituellement, et lorsque la machine, mise en mouvement par le mécanicien, vient s'appuyer sur le tender, la partie mâle, guidée par le pavillon, vient prendre spontanément sa place (*fig.* 2 *et* 3, *pl.* 16). On dispose deux tuyaux à rotules, ou, pour employer le langage habituel, deux *rotules*, une pour chaque pompe. Il convient, lorsque la longueur de la plate-forme le permet, de fixer le pavillon et la partie femelle sur la machine, pour que la poussière de la route ne vienne pas s'y loger en trop grande quantité.

Nous devons, en outre, signaler une disposition toute particulière qui a été employée avec succès, depuis près de dix années, sur le chemin de fer de Versailles (rive gauche), et que M. Polonceau, son auteur, vient d'appliquer sur les nouvelles machines qu'il a construites pour le chemin de fer de Paris à Orléans. Les tuyaux en toile sont remplacés par des tuyaux en cuivre rouge, d'une faible épaisseur, et de 0m 03 à 0m 04 de diamètre, enroulés en cercle, de manière à former un tour de spire entier entre les deux raccords qui sont sur le prolongement l'un de l'autre. Ce tuyau a toute la flexibilité nécessaire pour obéir à tous les déplacements relatifs du tender et de la machine, et tient parfaitement l'eau et la vapeur.



Les tuyaux d'aspiration sont soutenus de place en place par des pattes en fer. Les rotules sont en bronze ou en laiton.

On embranche sur chaque tuyau d'aspiration (*fig.* 2, *pl.* 16) un *tuyau réchauffeur* qui sert à envoyer dans le tender, pendant le stationnement, l'excédant de vapeur produite dans la chaudière, et qu'on utilise pour réchauffer l'eau. Chaque tuyau réchauffeur est fermé par un robinet, près du point où il se branche sur l'enveloppe du foyer; il doit puiser la vapeur à une assez grande hauteur au-dessus du niveau de l'eau. Celle-ci pourrait être entrainée en grande quantité, si la prise de vapeur avait lieu trop près de sa surface. La meilleure forme de *robinet réchauffeur* est celle qu'indique la *fig.* 5, *pl.* 16; elle se compose d'une soupape montée sur une tige à vis. Cette disposition doit être appliquée, autant que possible, à tous les robinets qui livrent passage à de la vapeur ou à de l'eau chaude; lorsqu'on leur donne la forme ordinaire, le corps du robinet se dilate et ne peut plus tourner que difficilement dans son boisseau; souvent même les surfaces grippent, et une réparation devient nécessaire.

Le *tuyau de refoulement* est en cuivre rouge, de 0^{m} 0025 à 0^{m} 004 d'épaisseur, et de même diamètre que le tuyau d'aspiration; il se soude à un bout du tuyau en bronze qui s'applique, par l'intermédiaire d'une bride et de boulons, sur le corps de la chaudière, et porte la soupape ou le robinet de retenue (*fig.* 6, *pl.* 15; *fig.* 1, *pl.* 16). Le joint de la chaudière doit être fait au *minium* et exécuté avec le plus grand soin. Lorsqu'on fait usage d'un robinet de retenue, il arrive quelquefois que le mécanicien, oubliant de le r'ouvrir avant d'alimenter, brise les tuyaux et détruit les joints. Il convient de le disposer de telle sorte que la clef mobile qui sert à le manœuvrer ne puisse être enlevée que lorsqu'il est ouvert; la vue de cette clef frappe le mécanicien et prévient tout oubli de sa part.

Les constructeurs n'ont pas toujours été d'accord sur le point où il convenait d'injecter l'eau froide dans la chaudière; quelques-uns ont placé l'introduction sur la boîte à feu extérieure : mais ce système a l'inconvénient de produire des contractions nuisibles à la

conservation du foyer ; en outre, si l'eau est chargée de matières calcaires, les dépôts peuvent se former en plus grande abondance entre les deux enveloppes du foyer. La position la plus convenable est à l'avant de la partie cylindrique, ou, lorsque la position des pompes le nécessite, dans un point intermédiaire entre le milieu et l'avant, mais toujours le plus loin possible du foyer.

3° Eau d'alimentation. — On doit, autant que possible, alimenter avec de l'eau chaude; pour cela, on établit souvent des appareils pour maintenir constamment chaude l'eau des réservoirs, dans lesquels les machines en service prennent leur approvisionnement; on profite également de la vapeur qui se produit en excès dans les machines en stationnement, et on la renvoie dans le tender au moyen du tuyau réchauffeur. Le chauffage de l'eau, pour lequel on utilise de la vapeur sans emploi et des combustibles de rebut, n'est pas seulement une source d'économie, en raison de la chaleur que l'eau apporte avec elle et qu'elle n'emprunte pas au foyer ; c'est surtout un moyen d'assurer la bonne marche de la machine; en effet, lorsqu'on injecte une grande quantité d'eau froide dans la chaudière, surtout lorsque l'alimentation coïncide avec le rechargement du foyer, la tension de la vapeur s'abaisse dans des limites considérables, et un mécanicien peu habile peut se trouver, par ce fait seul, mis hors d'état de continuer sa route; lorsque l'eau est chauffée à 50° ou 60° seulement, cet effet devient beaucoup moins sensible. Théoriquement, il conviendrait de chauffer l'eau jusqu'à près de 100° ; mais il est nécessaire, en réalité, de se maintenir à la limite de 60° à 70°, car l'eau trop chaude se réduit en vapeur dans le corps de pompe et cesse d'être aspirée et refoulée dans la chaudière; il faut, lorsque l'eau est très-chaude, avoir soin de laisser la soupape placée dans le tender, à l'origine du tuyau d'aspiration, complétement ouverte, car un étranglement qui opposerait une résistance un peu considérable au mouvement de l'eau contribuerait à empêcher la pompe de fonctionner.

Le choix des eaux qui servent à l'alimentation est d'une importance capitale; de leur bonne ou mauvaise qualité dépend la con-

servation ou la destruction rapide du foyer intérieur et des tubes. L'eau de source est toujours chargée de sels calcaires, de sulfate de chaux et souvent de carbonate de chaux ; le dernier de ces sels est maintenu en dissolution par un excès d'acide carbonique qui se dégage de l'eau dès que celle-ci est chauffée ; le premier est soluble par lui-même, mais en assez faible quantité seulement. Après un certain temps d'ébullition, l'eau se sature de sulfate de chaux, et la concentration continuant, celui-ci se dépose sur les parois au contact desquelles a lieu la production de vapeur. Le sulfate de chaux et le carbonate de chaux qui se déposent dans la chaudière se partagent en deux parties, l'une qui reste à l'état vaseux en suspension dans l'eau et se rassemble, lorsque la machine est au repos, dans les parties inférieures de la chaudière, mais sans y adhérer, l'autre qui éprouve une sorte de cristallisation confuse et s'attache aux parois du foyer et des tubes avec une adhérence telle qu'on ne peut détacher les croûtes ainsi formées qu'au moyen d'un burin. Lorsque les eaux sont très-chargées de sels calcaires, les incrustations peuvent atteindre en assez peu de temps des épaisseurs qui excèdent 0^m 001 sur les tubes et 0^m 01 sur les parois de la boîte à feu.

Les parois métalliques ainsi enduites de matières sédimentaires qui conduisent très-mal la chaleur, se suréchauffent, et en se dilatant et se contractant de quantités très-considérables, perdent leur solidité, en même temps que l'oxydation diminue leur épaisseur, les viroles des tubes se disjoignent, et de nombreuses fuites se déclarent dans le foyer ; enfin la chaleur développée par la combustion du coke se transmet plus difficilement à la masse liquide. La mauvaise qualité de l'eau d'alimentation est donc à la fois une cause de mauvais service, d'insécurité, de réparations fréquentes et coûteuses, et de surcroit dans la consommation du combustible.

S'il était possible d'évaluer en argent les dépenses de toute nature résultant de l'emploi d'une mauvaise eau d'alimentation, on resterait convaincu, de la manière la plus évidente, de la nécessité d'entreprendre les travaux en apparence les plus dispendieux pour

fournir aux réservoirs des eaux pures ; ce ne serait peut-être pas aller au delà de la réalité que d'estimer à 0 fr. 10, par kilomètre parcouru, le surcroît total des dépenses qu'occasionne l'usage d'une eau impure; pour 20,000 kilomètres de parcours annuel, ce serait un surcroît de dépenses de 2,000 fr. par an et par machine.

Lorsque les eaux déposent des sels calcaires, il faut nettoyer très-fréquemment la chaudière pour enlever les dépôts vaseux qui s'y forment en grande abondance, enlever les pellicules calcaires qui se détachent spontanément des tubes par l'effet des dilatations et contractions qu'ils éprouvent; ces dépôts peuvent se durcir et devenir solides en formant de nouvelles incrustations; en outre, ils salissent l'eau et font primer la machine. Il faut, de temps en temps, enlever quelques tubes des rangées inférieures, pour nettoyer à fond la partie cylindrique, démonter les armatures qui soutiennent le ciel du foyer et détacher, avec un ciseau et un marteau, les incrustations qui le recouvrent, enlever tout ce que peut atteindre un ouvrier en pénétrant dans l'intérieur de la chaudière par le trou d'homme, et tout ce qu'il est possible d'atteindre avec des tringles de fer passées par les trous de vidange. Malgré toutes ces précautions, il reste encore, principalement sur les parois verticales du foyer, des croûtes calcaires qu'on ne peut enlever mécaniquement qu'en remplaçant un très-grand nombre d'entretoises.

On a cherché à combattre l'effet des incrustations par des procédés chimiques ; quelques substances comme l'amidon (pommes de terre), les infusions de bois de teinture, le tannin, etc., ont pour objet de rendre les incrustations moins adhérentes et de faciliter les nettoyages; elles sont peu efficaces et font primer les machines; d'autres, comme la soude, le sel ammoniac, la chaux, le carbonate de soude, ont pour objet de détruire les incrustations déjà formées et de nettoyer les chaudières. Beaucoup de recettes, que leurs inventeurs entourent de mystère et pour lesquelles il a été pris plusieurs brevets, sont journellement proposées aux ingénieurs qui entretiennent le matériel des chemins de fer; elles ont toutes pour but, avec plus ou moins de succès, d'attaquer les éléments qui entrent dans la composition des incrustations, de les

désagréger et de les faire tomber à l'état de boue qui sort avec les dépôts vaseux, lorsqu'on lave la machine. Les matières employées sont les réactifs les plus communs de la chimie, ou des substances préparées à peu de frais; les principales sont celles que nous avons déjà citées.

L'emploi de ces procédés a l'inconvénient de faire cracher les machines et de faire fuir les joints que les dépôts cristallins ont pu ouvrir et qu'ils ont tenu momentanément fermés ; mais cet inconvénient ne peut pas être mis en balance avec la conservation des chaudières et l'économie du combustible; on les emploie, soit d'une manière continue pour détruire la cause des incrustations, soit d'une manière discontinue et à des intervalles plus ou moins éloignés pour enlever les incrustations formées. Il faut, toutefois, avoir égard aux propriétés acides de quelques-unes de ces matières, notamment à celles du sel ammoniac qui attaque le fer comme le ferait un acide; peut-être même pourrait-on lui substituer de l'acide hydrochlorique faible, qui, employé à petite dose et avec précaution de manière à ne pas dépasser le point où le carbonate de chaux se décompose, serait d'un usage sûr et peu coûteux pour les dépôts chargés d'une quantité un peu notable de carbonate.

Nous ne cherchons pas ici à traiter à fond la question des incrustations; nous insistons seulement sur la nécessité d'y apporter la plus grande attention. L'importance de la question est assez grande pour que l'on organise, sur un chemin de fer dont les eaux sont de mauvaise qualité, un service d'essais chimiques, comme on le fait maintenant pour le coke, comme on le fait dans une foule d'industries; il conviendrait, à des intervalles plus ou moins rapprochés, tous les mois, tous les quinze jours, par exemple, de doser la proportion de matières sédimentaires en dissolution dans les eaux qui alimentent les différents réservoirs de la ligne, et d'ajouter dans les réservoirs la dose correspondante de matières neutralisantes. En imitant les procédés employés pour l'essai des matières d'argent par voie humide et pour les essais alcalimétriques, on arriverait à rendre ces essais périodiques, simples et peu dispendieux; les frais de matières premières pour la neutralisation sont,

du reste, sans importance, à côté des avantages de toute nature qui résulteraient de la purification des eaux d'alimentation.

4° Alimentation dans les gares. — Lorsque les machines restent longtemps en stationnement dans les gares, ou lorsque leurs chaudières présentent des fuites, il est nécessaire de les alimenter. On peut le faire, en les faisant courir sur des voies spéciales, ou même sur les voies de service, mais ce n'est jamais sans quelques inconvénients ; le parcours ainsi effectué par la machine produit une usure proportionnelle ; en outre, cette manœuvre, exécutée souvent par des agents moins habiles que les mécaniciens ordinaires, expose à des collisions ou à des déraillements. On dispose, dans les gares principales, des *galets d'alimentation*, formés d'une paire de roues montées sur un essieu et placées au-dessous de la voie, de telle sorte que leur partie supérieure vienne affleurer avec la face supérieure des rails sur une longueur d'environ 0m 15 à 0m 20. On amène la machine, qui a besoin de renouveler son eau, sur ces galets, et on la cale dans une position telle que ses roues motrices reposent uniquement sur les roues intercalées dans la voie ; en donnant très-peu de vapeur sur les pistons, les roues tournent sur place et les pompes fonctionnent.

Ce moyen ne peut être appliqué qu'aux machines dont les roues sont indépendantes ; pour les machines à roues accouplées, il convient, lorsque l'alimentation dans les gares est trop difficile, ou même dans tous les cas possibles, si l'on veut éviter d'augmenter inutilement les frais d'entretien, de disposer sur chaque locomotive une petite machine à vapeur spéciale, accolée à la chaudière et qui fait marcher une pompe. Cet appareil (*fig.* 1, 2, 3, *pl.* 17) occupe très-peu de place.

Le tuyau d'aspiration et celui de refoulement doivent venir s'embrancher sur les tuyaux correspondants de la pompe de la locomotive afin d'éviter le percement de tout nouveau trou dans la chaudière.

Ces machines ont été employées, depuis plusieurs années, en Allemagne ; on en a fait récemment une heureuse application à

deux machines à six roues accouplées du chemin de fer de Paris à Saint-Germain.

CHAPITRE III.

Mécanisme ou Appparcil moteur.

Nous avons montré, dans l'introduction, la machine locomotive amenée par le concours du chemin de fer de Liverpool à Manchester à son état définitif, quant aux principes généraux sur lesquels reposait sa construction; nous avons indiqué plus tard quelle modifications avaient dû subir successivement les dimensions du générateur de vapeur, pour satisfaire aux conditions de puissance et de vitesse qui devenaient chaque jour plus nécessaires. Le mécanisme a suivi le même progrès; en même temps qu'on augmentait la surface de chauffe et la capacité des chaudières, on augmentait successivement le diamètre et la course des cylindres. Les cylindres de la *Fusée* avaient 0m 21 centimètres de diamètre et 0m 41 de course; les machines que l'on construit actuellement ont généràlement des cylindres de 0m 38 de diamètre, quelquefois de 0m 40 et même de 0m 45; la course varie de 0m 46 à 0m 70; elle est ordinairement de 0m 56 pour les machines à voyageurs et de 0m 60 pour les machines à marchandises.

A part des améliorations de détail dans la construction des pièces, on ne trouve dans les vingt dernières années qu'un perfectionnement essentiel dans les dispositions de l'appareil moteur : nous voulons parler de la détente qui a permis de réaliser d'importantes économies de vapeur et de combustible, et qui a par suite déterminé une nouvelie augmentation de puissance et de vitesse. Ce perfectionnement est dû en partie aux travaux des ingénieurs français.

Les premières machines n'avaient qu'un seul excentrique pour

chaque cylindre; cet excentrique était mobile sur l'essieu et pouvait être embrayé alternativement avec deux tocs fixés sur l'essieu dans deux positions diamétralement opposées; au moyen d'un appareil de débrayage dont le levier était à la portée du mécanicien, celui-ci pouvait changer le sens de la marche. Cette disposition présentait peu de solidité, et quelques constructeurs y avaient renoncé pour n'employer qu'un excentrique fixe dont la barre, terminée par un double *V* ou double pied de biche, s'embrayait soit directement sur la tige du tiroir, soit sur l'extrémité inférieure d'un levier attaché par son extrémité supérieure à la tige du tiroir; un levier de changement de marche, agissant sur la barre d'excentrique, renversait la marche du tiroir. La première disposition permettait de donner au tiroir une certaine avance pour faciliter l'introduction et le dégagement de la vapeur; la seconde ne permettait de donner de l'avance pour la marche en avant qu'à la condition de donner du retard pour la marche en arrière.

Le constructeur anglais Hawthorn est le premier qui ait eu l'idée d'employer quatre excentriques, deux pour chaque cylindre, l'un commandant la marche en avant, l'autre la marche en arrière; la distribution pouvait être convenablement réglée dans chaque sens.

L'application de l'avance, qui avait été empruntée aux machines de bateaux à vapeur, conduisait naturellement à la détente fixe. En 1840, MM. Flachat et Petiet, dans l'ouvrage qui sert de point de départ à notre travail, insistaient fortement sur les avantages de la détente fixe qui n'avait encore été appliquée que partiellement et dans des limites peu étendues; par de nombreux calculs ils établissaient l'avantage qu'il y a à donner 25° d'avance angulaire à l'excentrique, et au tiroir un recouvrement correspondant; dans ces conditions la détente fixe avait lieu sur environ 1/6e de la course du piston. M. Clapeyron appliquait à la même époque ce principe sur une plus large échelle et poussait la détente fixe jusqu'au tiers de la course, en augmentant proportionnellement la capacité des cylindres; les résultats obtenus sur les chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles démontrèrent dès cette époque toute l'utilité de cette innovation.

En 1840 on essayait également sur le chemin de fer de Saint-Germain un système de détente variable à deux tiroirs superposés, dont l'un était mené par les excentriques; l'autre, maintenu à sa surface supérieure par la pression de la vapeur et entraîné par le frottement, venait rencontrer une double came qu'il frappait plus tôt ou plus tard suivant la position de l'axe sur lequel elle était montée; le second tiroir, s'arrêtant au contact de cette came et fermant alternativement les lumières percées dans l'épaisseur du premier tiroir, interceptait l'introduction de la vapeur à une distance plus ou moins grande de l'extrémité de la course.—Cette détente avait l'inconvénient de ne pouvoir fonctionner qu'à la condition de ne laisser entrer la vapeur dans le cylindre que pendant une fraction de la course inférieure à la moitié, de telle sorte que le but était dépassé par l'exagération du résultat obtenu; en outre les tocs ne pouvaient pas résister dans les grandes vitesses, et de plus, l'inertie du tiroir supérieur ne pouvait pas être surmontée par les frottements, et il y avait par suite des perturbations de toute nature. Cet essai ne donna pas lieu à une application suivie.

En 1841, M. Cabry, ingénieur anglais, attaché au service des chemins de fer belges, imagina de faire varier la détente en faisant varier la course du tiroir au moyen d'une disposition spéciale du pied de biche qui termine la barre d'excentrique; cette détente, qui a été appliquée dans un très-grand nombre de circonstances, a été remplacée par celle de Stephenson.

En 1842, M. Meyer prit un brevet pour une détente très-complète et très-perfectionnée au point de vue théorique; il en fit l'application à des machines locomotives qui donnèrent des résultats favorables sous le rapport de la consommation. D'autres dispositions également avantageuses furent plus tard proposées et appliquées par divers constructeurs, parmi lesquels nous citerons spécialement Gonzenbach. Ces dispositions n'ont pas reçu une application générale, et dans beaucoup de cas on a démonté les appareils de détente employés; à l'inconvénient d'une augmentation très-notable dans les frottements, s'ajoute celui d'une assez grande sujétion pour l'entretien et la réparation. — Sur presque tous les chemins

de fer on a donné la préférence à la détente variable à un seul tiroir de Stephenson qui a succédé à celle de Cabry, en l'appropriant aux dispositions nouvelles que Stephenson lui-même introduisait dans la construction des machines par une transmission directe du mouvement aux tiroirs.

La première application de cette détente variable remonte à l'année 1843 ; nous la décrirons seule avec quelque détail.—Pour les détentes variables à plusieurs tiroirs, nous renverrons aux publications dans lesquelles elles ont été décrites et figurées avec tous les détails que comporte le sujet.

§ 1er. — Cylindres et pistons.

1° Cylindres. — Un cylindre se compose essentiellement d'une capacité cylindrique dans laquelle se meut le piston ; il est exactement alésé sur une longueur un peu supérieure à la course du piston, augmentée de son épaisseur ; il est fermé vers l'arrière par un *fond* fixe ou mobile à travers lequel passe la tige du piston ; vers l'avant par un *couvercle* ou *plateau*, mobile à volonté pour faire entrer et sortir le piston lorsqu'on le répare. Les lumières d'introduction viennent aboutir aux deux extrémités du cylindre où leur prolongement est souvent marqué sur le fond et sur le couvercle et sur les deux faces du piston ; on doit en effet laisser le moins de jeu possible entre le piston et les fonds du cylindre, le moins possible d'*espace nuisible* aux extrémités de la course. La boîte de tiroir et son couvercle dépendent du cylindre ainsi que la lumière et l'origine du tuyau d'échappement qui viennent de fonte dans la masse.

La forme extérieure des cylindres varie à l'infini, car elle dépend de leur position à l'intérieur ou à l'extérieur du châssis, de la forme même de ce châssis qui leur sert de support, de leurs propres dimensions qui peuvent amener pour les grands cylindres des modifications qui ne seraient pas nécessaires pour des cylindres plus petits. Les deux planches 18 et 19 représentent un certain nombre de dispositions de cylindres.

Pl. 18, *fig.* 1 *et* 2. Machine de *Sharp* et *Roberts*, cylindres intérieurs horizontaux, tiroirs en dessus ;

Fig. 3 *et* 4. Machine du *chemin de Rouen*, cylindres extérieurs inclinés, et tiroirs en dessus horizontaux ;

Fig. 5 *et* 6. Machine du *chemin de fer du Nord*, cylindres extérieurs horizontaux et tiroirs verticaux ;

Fig. 7 *et* 8. Machine du *chemin de fer de Paris à Lyon* (*voyageurs*) à cylindres extérieurs horizontaux et à tiroirs verticaux ;

Pl. 19, *fig.* 1 *et* 2. Machine *Antée*, cylindres extérieurs horizontaux à tiroirs verticaux ;

Fig. 3 *et* 4. Machine le *Rhône*, cylindres intérieurs, inclinés de 1/11e à tiroirs en dessous, obliques ;

Fig. 5 *et* 6. Machine du *chemin d'Orléans*, cylindres intérieurs horizontaux, tiroirs verticaux extérieurs aux roues.

Les cylindres sont généralement placés au delà du corps cylindrique de la chaudière, dans la boîte à fumée, au-dessous ou à côté de cette capacité; cependant on trouve dans l'un des modèles de Stephenson, et plus tard dans les machines de Crampton, les cylindres placés de part et d'autre du corps cylindrique, entre les roues d'avant et les roues du milieu qui deviennent alors de simples roues portantes. Les *fig.* 1 et 2 de la *pl.* 20 indiquent la forme des cylindres de la machine Crampton dont l'axe est horizontal, mais dont les tiroirs sont inclinés.

Les conditions que l'on doit s'attacher à remplir lorsque l'on combine le plan d'une machine, consistent, pour ce qui concerne les cylindres, à constituer solidement leur attache sur le châssis et sur la boîte à fumée; à disposer la boîte de tiroir de manière à rendre la visite et les réparations faciles; à rendre l'échappement aussi direct que possible pour diminuer les effets de la contrepression ; à réduire autant que possible l'espace nuisible à chaque extrémité de la course ; enfin, à donner aux lumières d'introduction, pour faciliter l'admission et surtout le dégagement de la vapeur, une section aussi grande que le comportent les autres exigences de la construction.

L'inclinaison des cylindres donne souvent une grande facilité

pour le service, mais poussée au delà de certaines limites, au delà de 16° à 25°, par exemple, elle peut présenter des inconvénients assez marqués, ainsi que nous le verrons plus loin.

Le fond du cylindre, lorsqu'il est mobile, ainsi que le couvercle, doivent être parfaitement dressés ; ils sont boulonnés sur des brides venues à la fonte sur le cylindre; quelquefois les boulons ont la tête noyée dans le corps même du cylindre, dont la tranche est exactement planée et forme joint avec le rebord du couvercle. Les brides sur lesquelles sont boulonnés les couvercles ont de 0m 03 à 0m 04 d'épaisseur sur 0m 06 de largeur ; on les dresse exactement afin que la juxta-position soit aussi parfaite que possible. Les parois du cylindre ont de 0m 02 à 0m 025 d'épaisseur, et sont quelquefois renforcées par des nervures annulaires de 0m 01 de saillie. — Il convient de donner aux cylindres neufs une sur-épaisseur afin de pouvoir les aléser deux ou trois fois sans craindre de compromettre leur solidité; on donne immédiatement à l'entrée et au couvercle qui y pénètre, le diamètre maximum que les alésages successifs peuvent atteindre.—Les plateaux doivent être aussi minces que possible pour que, dans le cas de rupture ou de dérangement du piston, ils puissent casser et préserver le cylindre lui-même d'une rupture qui occasionnerait des réparations dispendieuses.

La boite du tiroir, quelles que soient sa forme et sa disposition, doit avoir une capacité assez grande pour que le tiroir ne fasse pas obturateur et ne gêne pas le passage de la vapeur. La surface, qui comprend les orifices des lumières et sur laquelle glisse le tiroir, ou en d'autres termes la *table du cylindre* ou *le siége du tiroir*, doit être exactement dressée et rodée. Ses parois n'ont guère que de 0m 015 à 0m 022 d'épaisseur ; une bride et des boulons fixent le couvercle qui est renforcé par des nervures.

Les lumières ou conduites de vapeur, à l'introduction, ont une section à peu près égale à celle du tuyau de prise de vapeur, c'est-à-dire à 1/10 environ de l'aire des pistons ; celle de la lumière d'échappement est plus considérable, elle est à peu près égale à la somme des deux autres. Le développement des lumières d'introduction dépend de la distance de l'axe du piston à la table du tiroir,

distance qui varie avec la disposition générale du mécanisme ; il importe de la réduire autant que possible pour diminuer la résistance du frottement qui fait perdre à la vapeur, en contact avec le piston, une partie de sa tension, et qui, surtout, augmente la contre-pression pendant l'échappement. — En outre, la capacité des lumières constitue un *espace nuisible* qui se remplit de vapeur à chaque coup de piston, sans profit pour le travail de la machine.

Les couvercles entrent, à frottement doux, et sur une longueur d'environ 0^m 05 à 0^m 06, dans les cylindres. Le fond ou couvercle d'arrière, lorsqu'il est mobile, porte les glissières, et, dans ce dernier cas, il doit être assujetti très-solidement ; un des meilleurs emmanchements est celui qu'indiquent les *fig.* 3 *et* 4, *pl.* 18, 5 *et* 6 *pl.* 19, il porte un *stuffing-box* ou *boîte à étoupes*, composé généralement d'un anneau en bronze appelé *grain*, et d'un *chapeau* ou *presse-étoupes* également en bronze, ou en fonte garni alors d'une bague en bronze, dans lesquels glisse, à frottement doux, la tige du piston ; une *garniture* en chanvre enduit de suif est pressée entre le grain et le chapeau, et forme un joint imperméable à la vapeur, tout en permettant à la tige de glisser sans trop de résistance. — La hauteur de la garniture est de 0^m 08 à 0^m 10 et son épaisseur de 0^m 015 à 0^m 02. On a souvent essayé, mais sans succès, des garnitures métalliques. C'est généralement le corps de la boite à étoupes venu à la fonte avec le *fond* du cylindre ou avec le cylindre lui-même, si le *fond* n'est pas mobile, que l'on prend pour point d'attache des glissières, ainsi qu'on le verra plus loin.

Les couvercles dont la surface est plane doivent avoir une épaisseur un peu plus grande que celle des cylindres ; les boulons qui servent à les attacher sont au nombre de 8 à 10 et ont environ 0^m 025 de diamètre. Les couvercles des boîtes de tiroir ont souvent besoin d'être enlevés : on leur applique deux poignées que l'on visse sur deux trous taraudés, soit à demeure, soit au moment même de la manœuvre. Lorsqu'ils sont placés dans l'intérieur de la boîte à fumée, il convient, pour faciliter le démontage, d'employer des écrous en bronze surmontés d'une sorte de chapeau en forme de dé à coudre, qui préserve le pas de vis du boulon de toute altération par l'action du feu et de la rouille.

L'une des deux faces d'avant ou d'arrière de la boîte du tiroir est souvent fermée par un plateau fixé sur une bride, comme celui du cylindre, au moyen de boulons ; cette ouverture facilite la mise en place et le démontage du tiroir; elle est indispensable, lorsque le cadre en fer qui embrasse le tiroir et qui le met en mouvement est venu de forge sur la tige; elle facilite en outre la réparation de la table du tiroir.

On doit comprendre, dans la description des cylindres, diverses pièces accessoires, les *robinets purgeurs*, les *robinets graisseurs* et les *enveloppes*.

Les *robinets purgeurs* servent à enlever l'eau de condensation qui s'accumule dans les cylindres pendant le stationnement, et l'eau entraînée pendant la marche. Les robinets purgeurs ne présentent rien de particulier comme disposition ; ils sont en bronze, d'une section intérieure variant de 0^m 005 à 0^m 008. Ils sont implantés au nombre de deux sur chaque cylindre, aux points extrêmes correspondant à l'espace nuisible qui reste à la fin de la course entre le piston et le plateau du cylindre. Quelques constructeurs qui avaient disposé leurs tiroirs sur le côté, dans une position verticale, ont appliqué un robinet purgeur à chaque boite de tiroir, indépendamment de ceux du cylindre ; d'autres, au contraire, ont pensé qu'il suffisait d'en placer sur les boîtes de tiroir. Il ne suffit pas de purger la capacité qui renferme les tiroirs, il faut aussi vider directement les cylindres ; ce dernier exemple ne doit donc pas être imité.

Les robinets purgeurs sont commandés par un arbre commun, portant des manivelles et de petites bielles de transmission, qui agissent sur la manette de chaque robinet. Un levier spécial et une tringle dont l'extrémité est sous la main du mécanicien, servent à mettre en mouvement l'arbre de transmission et tous les robinets.

Les *robinets graisseurs* servent à graisser le piston et les tiroirs (*fig.* 1, *pl.* 70, *et fig.* 3 ,*pl.* 71) ; ils sont placés sur les couvercles d'avant des cylindres, ou, lorsque les tiroirs sont placés au-dessus des cylindres, sur le couvercle de la boite du tiroir ; dans le premier cas, les tiroirs sont graissés par l'huile que la vapeur entraîne après

avoir lubréfié les parois du cylindre; dans le second cas, c'est l'inverse qui a lieu ; cette seconde méthode doit être préférée toutes les fois qu'elle est applicable; il vaut mieux encore avoir pour le tiroir et pour le cylindre des robinets indépendants.

Dans les anciennes machines, où la boite du tiroir était placée dans la boîte à fumée, on perçait un trou taraudé et fermé par un bouchon à vis, par lequel on introduisait du suif fondu au moment du départ. — Quelquefois, on plaçait un robinet graisseur sur le côté de la boite à fumée, en le faisant communiquer par un petit tuyau avec la boite du tiroir.

Les robinets sont à simple boisseau, ou à double boisseau à capacité intermédiaire (*fig.* 7, *pl.* 19); dans le premier cas, ils ne servent à graisser que pendant le stationnement; dans le second cas, ils peuvent servir à graisser pendant la marche.

Lorsque les cylindres ne sont pas renfermés dans la boite à fumée, on les recouvre d'une double *enveloppe* de feutre et de bois; quelquefois, on lui superpose une troisième enveloppe en tôle peinte ou en laiton poli; enfin, quelques constructeurs recouvrent les plateaux d'une plaque de feutre retenue par une plaque de tôle ou de laiton. Il importe de prévenir par tous les moyens possibles la condensation de la vapeur par le refroidissement du cylindre, et il y aurait tout avantage, lorsque le plan général de la construction le permet, à les renfermer dans la boite à fumée, si la capacité de celle-ci ne devait pas en être augmentée d'une manière nuisible au tirage.

Les métaux employés dans la construction des cylindres et de leurs parties acccessoires sont : la fonte pour le cylindre proprement dit et ses fonds ou couvercles, le laiton ou le bronze pour les presse-étoupes et les robinets. La fonte destinée aux cylindres doit être à grain très-serré et un peu dure, parfaitement saine, exempte de toute soufflure, d'un grain fin, tenace et susceptible d'un très-beau poli, dans les parties en contact avec les pistons ou avec les tiroirs. Les tables de tiroirs doivent être très-dures; plusieurs constructeurs et, entre autres, Stephenson, les ont coulées en coquille, ce qui a donné de très-bons résultats. La masselotte à la coulée doit avoir au moins 0^{m} 30 à 0^{m} 40 de hauteur.

Le montage des cylindres doit être fait avec le plus grand soin, de telle sorte que l'axe coïncide bien exactement avec l'intersection de deux plans, l'un passant par l'axe de l'essieu moteur, l'autre perpendiculaire à ce même axe ; c'est là le point de départ du montage de tout le mécanisme. Leur durée est très-considérable ; elle correspond à un parcours d'environ 200,000 kilomètres.

2° Pistons. — Le piston se compose d'une *tige*, de deux *plateaux* montés sur la tige et de *segments* métalliques intercalés entre les deux plateaux pour former le joint; nous parlerons de la *coquille* ou tête de la tige du piston en décrivant les glissières. Les segments sont appliqués à frottement doux contre les parois du cylindre, soit en vertu de leur propre élasticité, soit au moyen de *coins* pressés par des ressorts qui les écartent et les maintiennent constamment en contact avec le cylindre.

Les pistons doivent être aussi légers que possible, pour éviter la flexion de la tige sous l'action de leur poids, lorsqu'ils sont à bout de course, et pour diminuer l'importance du rôle que joue le poids même de cet organe dans la stabilité de la machine en mouvement. quelques constructeurs ont adopté des plateaux en tôle de 0m 015 à 0m 020 d'épaisseur, et réduit les segments et les ressorts de pression aux dimensions strictement nécessaires ; mais, pour que ces plateaux présentent une résistance suffisante, il faudrait leur donner un poids comparable à celui des plateaux en fonte ; le meilleur système consisterait à faire des plateaux en fer forgé, armés de nervures vers le centre, et présentant une large base d'ajustage.

La construction des segments exige un soin tout particulier, car il importe que la pression s'exerce uniformément sur toute leur circonférence, afin que le cylindre ne s'use pas d'une manière inégale ; il faut en même temps, lorsque cette usure inégale a lieu malgré toutes les précautions prises, qu'ils aient assez de flexibilité pour épouser la forme nouvelle que prend le cylindre. Pour rendre enfin l'obturation plus complète, on dispose deux étages de segments à joints croisés, l'un interceptant le passage de la vapeur aux points où l'autre présente des solutions de continuité pour recevoir l'ac-

tion des coins de serrage. Lorsque chaque segment est d'un seul morceau, son épaisseur est généralement inégale, et croît depuis la fente qui reçoit le coin jusqu'à l'extrémité opposée du diamètre correspondant (*fig.* 5, 10, 11, *pl.* 20, *et fig.* 1, *pl.* 21).

Le piston doit être attaché avec le plus grand soin à la tige : le mouvement alternatif très-rapide qu'il éprouve tend à détruire rapidement l'assemblage.

Dans les anciennes machines, l'un des plateaux portait un manchon en fonte ajusté sur un renflement conique qui terminait la tige et y était fixé par une forte clavette (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 20) ; maintenant, on fait venir de forge sur la tige un renflement sur lequel s'appuie chacun des plateaux (*fig.* 6, 9, 12, *pl.* 20), ceux-ci étant, comme toujours, reliés entre eux par des boulons ; cette disposition, indépendamment de la solidité, a l'avantage de rendre le piston mobile autour de sa tige, et permet de vérifier si le serrage est convenable, sans tout démonter ; elle permet de plus de déplacer le piston de temps en temps pour combattre la tendance à l'ovalisation.

Pour empêcher les plateaux de porter sur les cylindres à la partie inférieure, on place l'un des segments de telle sorte, que sa plus forte épaisseur (cette disposition suppose qu'il est d'un seul morceau) soit à la partie inférieure du cylindre, et on le prend pour point d'appui d'une vis qui soutient le plateau dans lequel est engagée la tige du piston (*fig.* 1, *pl.* 21) ; il vaut mieux encore centrer la tige, en plaçant les segments de telle sorte que leurs sommets soient à 45° de l'arête inférieure du cylindre et en appliquant sur chacun une vis qui vient s'appuyer sur les portées du plateau.

Lorsque chaque segment est d'un seul morceau, il est pressé à l'intérieur par un seul ressort circulaire, qui s'applique sur toute sa circonférence ; au point où est placé le coin, le ressort s'aplatit pour recevoir une vis de serrage ; d'autres fois, une lame de ressort très-courte s'appuie sur deux ergots que porte le segment et sert de support à la vis de serrage, qui presse le coin, pour écarter le segment au fur et à mesure de son usure. On a enfin employé des segments faisant eux-mêmes ressort, et fermés à la fente par une

petite lame d'acier ou de bronze ajustée à queue d'hironde. On fond un anneau en fonte très-douce, que l'on martèle à froid, de manière à écrouir sa face intérieure ; on le fend et il s'ouvre sur un diamètre un peu supérieur à celui du cylindre ; entrés de force dans le cylindre, ces segments pressent les parois par leur propre élasticité, et s'ils sont construits avec soin, ils peuvent rendre d'utiles services; mais lorsqu'ils sont mal exécutés, ils remplissent imparfaitement le but; c'est ce qui a eu lieu, le plus souvent, lorsqu'on en a fait l'emploi, et c'est ce qui explique comment on a renoncé à leur usage.

Les écrous des boulons qui réunissent les plateaux doivent être arrêtés avec le plus grand soin ; on se sert pour cela d'une feuille de tôle sur la circonférence de laquelle on taille des échancrures qui correspondent à la forme et à la position des écrous, et que l'on fixe au moyen de vis sur le plateau antérieur ; les écrous sont emprisonnés par cette plaque, et ne peuvent pas se desserrer (*fig.* 7, *pl.* 20). On peut remplacer avec avantage les vis qui peuvent se desserrer par une petite goupille carrée, fixée sur le bout de la tige du piston.

Les *fig.* 3 *à* 6 *et* 9 *à* 12 de la *pl.* 20 représentent différents types de pistons et reproduisent sous diverses formes les dispositions qui viennent d'être indiquées. Les *fig.* 7 *et* 8 représentent une disposition spéciale de piston, qui a été longtemps en faveur, mais à laquelle on renonce maintenant assez généralement; une *cuvette* pressée par des ressorts à boudin forme un coin général qui presse sur les segments taillés intérieurement suivant la même surface conique ; le vice de ce système consiste dans la difficulté d'imprimer une tension uniforme aux ressorts à boudin, et, par conséquent d'exercer la même pression sur toute la circonférence de la garniture.

On distingue souvent les deux plateaux du *piston* en *plateau* proprement dit et *couvercle ;* le premier porte, dans les anciens pistons, le manchon en fonte dans lequel s'emmanche à clavette la tige du piston (*fig.* 3 *et* 4, 7 *et* 8, *pl.* 20). Ce manchon porte lui-même quatre saillies, de toute la hauteur du vide intérieur du piston, qui sont percées de trous cylindriques et qui servent de guides aux boulons destinés à réunir les deux plateaux. Dans les pistons plus récents,

les manchons qui servent de guide aux boulons sont isolés et consolidés seulement par des nervures rayonnantes (*fig.* 9 *et* 12) ou circulaires (*fig.* 5 *et* 6) ; les deux plateaux, au fur et à mesure que la construction se perfectionne, tendent à devenir exactement semblables entre eux.

On a construit, à l'origine, des segments formés de plusieurs morceaux, pressés par des ressorts à boudin qui prenaient leur point d'appui sur le renflement intérieur du plateau; pour rendre la fermeture plus complète, on a quelquefois employé pour chaque segment deux garnitures l'une dans l'autre, à joints croisés, les ressorts pressant les pièces intérieures ; c'est même à cette disposition qu'il faut attribuer l'origine du mot *segment*, qui s'applique maintenant à un cercle entier. Ainsi que nous l'avons dit, on n'emploie plus à présent que des segments d'une seule pièce, comme l'indiquent les *fig.* 3 *à* 12, *pl.* 20.

On emploie le bronze, la fonte et plus rarement l'acier pour la construction des segments. On leur donne 0^{m} 03 de hauteur et près de la fente 0^{m} 315 à 0^{m} 020 d'épaisseur; cette épaisseur croît jusqu'à l'extrémité opposée du diamètre correspondant, suivant une progression que l'expérience et le tâtonnement indiquent pour chaque espèce de métal et pour les différents diamètres de cylindres. Les segments sont ajustés non-seulement sur leur surface extérieure, mais encore sur les deux tranches, car les fuites de vapeur pourraient s'établir tout aussi bien entre les plateaux et les segments qu'entre les segments et les parois du cylindre. Au point où le coin de serrage s'applique, les deux extrémités du segment présentent chacune un renflement qui sert d'appui au coin ; l'angle de celui-ci est de 60° à 80°.

Lorsqu'un segment est composé de plusieurs pièces, il y a un coin de serrage à chacun des joints, et un ressort, soit à boudin soit à lame, comme celui de la *fig.* 5, *pl.* 20, agit sur chaque coin. Il est difficile de régler les vis de serrage qui s'appuient sur ces ressorts de manière à obtenir une pression uniforme; c'est en partie pour ce motif que l'on a généralement adopté les segments d'une seule pièce. Lorsqu'on fait usage d'un

ressort circulaire, on peut l'employer de deux manières distinctes, soit uniquement pour presser sur le coin du serrage, en l'appuyant seulement par son sommet sur la paroi intérieure du segment (*fig.* 9 *et* 10, *pl.* 20), soit pour presser le coin de serrage et, en même temps, pour presser sur les différents points de la circonférence du segment (*fig.* 3 *et* 4, 11 *et* 12, *pl.* 20). La vis de serrage se relie au ressort, soit par un écrou taraudé dans un renflement que porte cette pièce (*fig.* 3, 4, 9, 10, 11 *et* 12, *pl.* 20), soit au moyen de deux écrous entre lesquels se trouve prise la lame de ressort (*fig.* 5, 6, *pl.* 20) ; dans le premier cas, on place sur la vis un écrou de retenue. Pour empêcher la vis de se desserrer, on emprisonne quelquefois sa tête dans une petite boite ou guide fixée sur le plateau du piston (*fig.* 11 *et* 12, *pl.* 20). Les ressorts circulaires ont de 0^m 002 à 0^m 0025 d'épaisseur.

Tout le monde n'est pas d'accord sur la préférence à donner au bronze ou à la fonte pour la construction des segments de pistons; l'acier grippe facilement et est cassant, son usage ne doit donc pas être recommandé. Le frottement du bronze est plus doux et paraît mieux convenir pour les grandes vitesses, mais il a l'inconvénient de s'user moins également et surtout de s'user rapidement, ce qui oblige à donner fréquemment du serrage aux segments, lesquels ne sont jamais que pendant un temps assez court dans un état de serrage normal; par contre on est moins assujetti pour le graissage et moins exposé à canneler les cylindres qu'avec la fonte. Pour jeter quelque jour sur cette importante question, nous avons ouvert une sorte d'enquête en consultant les ingénieurs et les constructeurs des principales lignes de chemin de fer; il en est résulté que les pistons à segments en fonte de première qualité à grain très-serré, sans soufflures, donnaient d'excellents résultats et devaient être préférés; ils durent très longtemps sans qu'on soit obligé de donner du serrage, ils donnent un très-beau poli aux cylindres ; bien construits et bien entretenus, ils sont d'un usage très-avantageux.

Les tiges de piston doivent être parfaitement cylindriques dans toute leur étendue; leur diamètre varie de 0^m 04 à 0^m 07 ; on peut calculer cette dimension, au moyen des données expérimentales qui

indiquent à quelle limite se rompt une barre de fer ou d'acier soumise à un effort de traction longitudinal. D'après M. Poncelet, la résistance du fer forgé suivant la qualité et l'échantillon varie de 6,000^{kg} à 2,500^{kg} par centimètre carré, et peut être prise en moyenne à 4,000^{kg}. Celle de l'acier trempé varie de 10,000^{kg} à 3,600^{kg} et peut être prise en moyenne à 7,500^{kg} par centimètre carré. Dans la pratique on admet en général qu'on ne doit pas porter la charge habituelle au delà de 1/6 ou 1/7 de la résistance indiquée ci-dessus, pour tenir compte des défauts de structure qui échappent à l'œil, des chocs et autres actions anormales que les tiges peuvent avoir à supporter. Nous adopterons, en conséquence, pour la résistance réduite qu'il convient d'appliquer dans la pratique pour le fer.................................. 550^{kg}
pour l'acier.................................... 1,000^{kg}
Si l'on suppose un cylindre de 0^{m} 40 de diamètre recevant de la vapeur à la tension de 7^{ath}, dont le piston supporte par conséquent une pression de 6^{ath} ou 6^{kg} par centimètre carré, ou en totalité de 7,791^{kg}, il sera nécessaire de donner à la tige du piston, si elle est en fer, une section de $\frac{7,791}{550}=14^{cq}, 16$, et si elle est en acier de $\frac{7,791}{1,000}=7^{cq}, 79$.

Les diamètres correspondants sont pour le fer forgé... 0^{m} 043
pour l'acier.................................... 0^{m} 031

Dans la construction des machines locomotives où l'inertie du piston, soumis à des mouvements très-rapides, augmente dans certaines parties de la course l'effort supporté par la tige, où des vices de montage peuvent accroître encore la fatigue qu'elle éprouve, il convient de forcer ces dimensions; il serait prudent pour le cas que nous avons choisi d'augmenter de 0^{m} 01 à 0^{m} 02 les dimensions calculées; c'est en effet ce que font les constructeurs. Il faut remarquer, en outre, que des tiges trop minces pourraient fléchir sous le poids du piston, ce qui occasionnerait l'ovalisation du cylindre.—S'il s'agissait de tiges très-longues, il faudrait avoir égard à la flexion, lorsque la pression agit en comprimant les molécules

du métal, au lieu d'agir comme effort de traction ; il pourrait être nécessaire d'augmenter les dimensions pour conserver une rigidité suffisante ; mais ce n'est pas le cas dans les machines locomotives. —On doit préférer l'acier qui, indépendamment du moindre poids à résistance égale, a l'avantage de prendre un plus beau poli et de mieux se conserver que le fer.

3° Glissières ou guides du piston.—Ainsi qu'on l'a vu, lorsque nous avons donné la description sommaire de la machine locomotive, la tige du piston s'engage dans une tête, *coquille* ou *crosse* du piston, qui glisse entre des guides métalliques destinés à maintenir la tige du piston dans sa direction rectiligne, et à résister à la poussée oblique de la manivelle. La coquille ne peut pas être soudée à la tige, car celle-ci doit être enfilée à travers le fond du cylindre et le presse-étoupes; la tige se termine par un tronc de cône allongé qui pénètre dans un trou alésé coniquement et très-juste sur la coquille; l'assemblage est fait au moyen d'une forte clavette goupillée, afin que dans aucun cas elle ne puisse se déranger pendant la marche.

La *pl.* 21, *fig.* 2 *et* 3, 4 *et* 5, 6 *et* 7, 9, 10 *et* 11, 12 *et* 13, représente différentes formes de coquilles; la plupart de ces formes, à l'exception de la première, présentent un défaut capital : le point d'attache de la bielle ne correspond pas au milieu des *patins* de la coquille; il en résulte forcément, dès qu'il y a un peu d'usure, que la tige du piston fléchissant sous la poussée oblique de la bielle, les patins tendent à frotter par une arête et déterminent une prompte dégradation des glissières. La disposition de la *fig.* 2 *et* 3 est la plus rationnelle, car toutes les pièces, tige de piston, bielle et patins viennent s'appliquer sur un même arbre autour duquel ces dernières sont mobiles.

Les coquilles de piston sont en fer forgé ; ces pièces doivent être travaillées avec le plus grand soin, et arriver à très-peu près à leur forme définitive sous l'action du marteau. Les trous qui reçoivent la tige du piston et le boulon d'attache de la bielle doivent être percés à froid dans la masse ; quelquefois, pour assurer la mobilité

de ce boulon et l'empêcher de gripper, on l'enveloppe d'une virole en bronze fixée à demeure dans la coquille (*fig.* 9 *et* 10).

Les *patins* ou *coulisseaux*, dont la coquille est armée et qui frottent sur les glissières, sont généralement indépendants et rapportés à vis; on peut se contenter de faire venir sur la crosse du piston un tourillon ou téton très-court qui entre dans le coulisseau et l'entraîne, en lui laissant prendre la direction que lui imprime la glissière par l'intermédiaire des rebords dont il est armé. —Les coulisseaux doivent être formés d'un métal un peu moins dur que les glissières, car il vaut mieux que l'usure inévitable occasionnée par le frottement porte sur les pièces les moins coûteuses et les plus faciles à remplacer ou à réparer. Le métal employé le plus fréquemment est la fonte; on fait quelquefois usage du bronze, et plus rarement de l'acier ou du fer trempé; la fonte a un frottement plus doux que les autres métaux sur l'acier ou sur le fer trempé des glissières.

On comprend facilement qu'il faut une grande perfection dans le montage des pièces qui servent à guider la tige du piston, car de là dépend la conservation des coulisseaux, des glissières, de la tige du piston, de son presse-étoupes, et même des segments du piston et du cylindre. Le coulisseau supérieur est celui qui s'use le plus vite, car c'est lui qui supporte la pression due à l'obliquité de la bielle, lorsque la machine marche en avant; on peut s'en rendre compte en remarquant que le piston tire la bielle lorsqu'elle est au-dessus de l'axe des cylindres et la pousse au contraire lorsqu'elle est au-dessous; l'usure que l'on observe souvent sur le coulisseau inférieur et sur la glissière correspondante, prouve l'inconvénient qu'il y a à emmancher la bielle en porte-à-faux sur la coquille.

On distingue deux sortes de *glissières*; celles qui ont été appliquées les premières sont latérales (*fig.* 7 *et* 8, *pl.* 22); elles sont fixées sur des longerons placés sous la chaudière et entrant dans la construction générale du châssis; chacune se compose de deux pièces en forme de cornières, en bronze ou en fonte, rivées sur les longerons; ces pièces portent deux règles en acier parfaitement

dressées, entre lesquelles glisse le coulisseau de la *fig.* 2 *et* 3, *pl.* 21. Cette disposition a été abandonnée par plusieurs constructeurs, mais quelques-uns, Sharp entre autres, l'ont conservée avec raison, car elle permet seule d'adopter un emmanchement convenable de la bielle et de la tige du piston sur la coquille. Les glissières le plus généralement adoptées maintenant sont représentées *fig.* 1, 2 *et* 3, et *fig.* 4, 5 *et* 6, *pl.* 22. Deux fortes barres d'acier ou de fer trempé sont fixées par une extrémité sur les presse-étoupes du cylindre, et par l'autre extrémité, sur des supports en fer forgé, solidement attachés aux longerons des châssis, et reliés entre eux par une forte entretoise. Les deux glissières sont l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la coquille qui les embrasse par les rebords dont sont armés les patins.—L'acier fondu doit être préféré à tous égards.

On rapporte souvent sur ces glissières, soit dans la construction première, soit dans la réparation, des pièces en acier ou quelquefois en fonte très-dure, pour former les surfaces de frottement; on les fixe au moyen de boulons à tête noyée (*fig.* 4). On dispose généralement aussi de petites plaques de cuivre intercalées entre les *talons* des glissières et les supports, que l'on enlève ou qu'on amincit à la lime pour racheter l'usure produite par le service. Enfin on applique sur la glissière supérieure des *godets graisseurs* qui versent l'huile goutte à goutte, au moyen d'une mèche en forme de siphon. Dans les anciennes glissières on compense l'usure des règles en acier en rapportant des épaisseurs de cuivre ou de bois dur, entre elles et leurs supports.

Les glissières, attachées seulement par leurs extrémités, doivent avoir une force suffisante pour résister à la pression de la bielle motrice qui peut atteindre, au moment du démarrage, une valeur maximum de 1,000^{kg} à 1,500^{kg}, suivant la dimension des organes de la machine et la tension à laquelle fonctionne la vapeur; cette donnée permet de calculer la section que doit avoir la glissière au milieu de sa longueur. Dans certaines machines à cylindres extérieurs qui ont un double châssis, on a pu employer des glissières entièrement en fonte en les assujettissant à la fois sur ces deux bâtis, au moyen de quatre à cinq boulons répartis sur leur lon-

gueur; dans ce cas, il faut que la fonte des patins de la coquille soit moins dure que celle des glissières.

Il faut donner aux glissières le plus de largeur possible pour diminuer la pression qu'elles ont à supporter par chaque centimètre carré, et par suite, l'usure occasionnée par le frottement.—Les bielles à fourche restreignent la largeur qu'il est possible de leur donner.

Les *supports des glissières* varient dans leur forme, suivant celle de la bielle; quand celle-ci est à fourche, le corps des supports est droit, car il doit être embrassé par la fourche (*fig.* 2 *et* 3, *pl.* 22); quand, au contraire, la bielle est simple, le support est percé d'une ouverture qui livre passage à la bielle (*fig.* 5). Quelquefois le support des glissières sert en même temps de point d'attache à la pompe (*fig.* 4).

§ 2. — Transmission du mouvement.

La pression motrice de la vapeur est, comme nous l'avons déjà indiqué, transmise à l'*essieu moteur* et aux *roues motrices* par la *bielle motrice* ou *bielle* proprement dite; lorsqu'il est nécessaire de faire concourir la charge des autres roues à la production de l'adhérence, on emploie des bielles d'accouplement qui entrent dans le système de la transmission du mouvement; c'est la disposition de ces pièces, leur forme et leur mode de construction, que nous avons à examiner.

1° Essieu moteur. — L'*essieu moteur* est *droit* ou *coudé*; dans le premier cas, la machine a ses cylindres placés extérieurement. L'essieu est calé par ses deux extrémités sur les *moyeux* en fonte ou en fer forgé des roues motrices, qui présentent un renflement en forme de *manivelle;* ce renflement est percé d'un trou dans lequel est ajusté un *bouton* de manivelle (*fig.* 3 *et* 4, 7 *et* 8, *pl.* 25, et *fig.* 7 *et* 8, *pl.* 26). En faisant abstraction du mode de construction de la roue dont nous parlerons plus tard, ce système constitue l'essieu moteur des machines à cylindres extérieurs. Le bouton est ajusté de force dans le trou de la manivelle au moyen de la presse hydraulique; son extrémité est refoulée dans une petite cavité

annulaire ménagée à cet effet; quelquefois on le cale, comme l'essieu, au moyen d'une clavette. Le bouton de manivelle doit être fait en fer trempé.

L'*essieu coudé* correspond aux cylindres intérieurs; il porte deux coudes formés chacun par deux manivelles ayant un tourillon commun; il est d'une seule pièce (*fig.* 5, *pl.* 25, et *fig.* 1 *et* 3, *pl.* 26). L'essieu est forgé avec deux masses pleines affectant grossièrement la forme des manivelles coudées, et situées d'abord dans le même plan; la pièce est ensuite tordue à la forge jusqu'à ce que les deux manivelles soient amenées à faire entre elles un angle de 90°. L'essieu reçoit ensuite la forme définitive à l'ajustage, où l'on découpe les manivelles dans la masse. Lorque l'essieu moteur est droit, on cale les deux moyeux en fonte dans des positions telles que les rayons aboutissant au centre des boutons de manivelle soient exactement perpendiculaires entre eux.

Le diamètre des essieux moteurs dans les machines que l'on construit actuellement, varie de 0m 14 à 0m 18, suivant leur puissance. Lorsque l'essieu est coudé, la manivelle, c'est-à-dire son tourillon et ses deux bras doivent être au moins aussi forts que le corps de l'essieu; on comprend, en effet, que l'action alternative de la bielle motrice et les flexions résultant de l'instabilité de la machine fatiguent considérablement cette partie de l'essieu que sa forme rend peu propre à la résistance.

2° BIELLES MOTRICES. — Les bielles motrices doivent être assez longues pour que la pression exercée sur la glissière par la crosse du piston ne soit pas trop considérable; dans la construction des machines locomotives, on s'applique à donner à la bielle une longueur égale à cinq fois au moins le rayon de la manivelle.

On distingue les *bielles droites* et les *bielles à fourche;* les premières consistent dans une barre de fer forgé de section rectangulaire, terminée par deux têtes, dont l'une, dite *grosse tête de bielle*, embrasse le bouton de manivelle de l'essieu moteur, et l'autre, dite *petite tête de bielle*, embrasse le boulon d'attache fixé dans la coquille ou crosse du piston; les *fig.* 1, 2, 7 *et* 8, *pl.* 23, 1 *et* 2,

3 *et* 4, 5 *et* 6, *pl.* 24, représentent les diverses formes employées. On fait décroître les dimensions transversales, depuis la grosse tête jusqu'à la petite; ce mode de construction a pour objet de donner à la pièce une plus grande résistance au point où son mouvement dans le sens vertical a la plus grande amplitude, et de l'empêcher de fouetter ; il est également nécessaire d'augmenter sa force au point où elle s'applique sur la manivelle, pour le cas où les coussinets viendraient à gripper et à produire des efforts de torsion.

Les bielles à fourches représentées *fig.* 3 *et* 4, 5 *et* 6, *pl.* 23, se terminent du côté de la petite tête par deux branches parallèles, qui embrassent la coquille du piston et saisissent les deux extrémités du boulon d'attache ou deux boutons venus de forge sur la pièce, et ayant leur axe commun (*fig.* 4 *et* 5, 12, 13 *et* 14, *pl.* 21). L'emploi de la bielle à fourche simplifie la construction du support des glissières et permet de diminuer le porte-à-faux du point d'attache sur la coquille, mais leur ajustage est plus difficile que celui des bielles droites et elles se faussent facilement. On fait disparaître, en grande partie, ce dernier inconvénient en remplaçant les coussinets des petites têtes de bielle par de simples trous cylindriques dans lesquels passe le boulon d'attache, et dans lesquels on rapporte des bagues en bronze quand l'usure a fait des progrès un peu notables.

Chacune des têtes de bielle est garnie de *coussinets* en bronze sur lesquels s'exerce le frottement des boutons de manivelle ou du boulon d'attache de la coquille; dans quelques cas (*fig.* 4 *et* 5, *pl.* 21, et *fig.* 5 *et* 6, *pl.* 23), le boulon d'attache est rendu solidaire avec la petite tête de bielle, au moyen d'une clavette; c'est alors la coquille qui porte une bague formant coussinet de frottement. Les constructeurs ont adopté des dispositions diverses pour l'emmanchement des têtes de bielle et de leurs coussinets. Les grosses têtes de bielle pour essieux coudés sont à *chape* mobile (*fig.* 1 *et* 2, 5 *et* 6, 7 *et* 8, *pl.* 23; *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 24). La disposition des *fig.* 1 *et* 2 des *pl.* 23 *et* 24 est due à Sharp; elle présente une grande solidité; la chape est réunie d'une manière invariable au corps de la bielle par deux coins à double queue

d'hironde, emmanchés latéralement et maintenus par un boulon traversant la chape, la bielle et les coins ; ces coins empêchent la chape de se déplacer et de s'ouvrir. Le serrage des coussinets est obtenu au moyen d'une *clavette* d'acier en forme de coin, qui prend son point d'appui sur le corps de la bielle et presse le coussinet par l'intermédiaire d'une *contre-clavette* en acier taillée également en forme de coin. La clavette est assujettie par des vis de pression. Les *fig.* 5 *et* 6, *pl.* 23, présentent une modification de cette disposition ; la clavette est remplacée par un coin qui est sollicité par une vis de rappel pour produire le serrage. Stephenson a employé, dans un grand nombre de ses machines, le mode de construction indiqué *fig.* 7 *et* 8, *pl.* 23 ; la chape est remplacée par un étrier en fer qui embrasse les deux coussinets et les maintient appuyés sur le corps de la bielle ; celle-ci présente deux oreilles sur lesquelles s'appuient les écrous de serrage, vissés sur les deux extrémités de l'étrier. Ce système est très-simple de construction et exige une moindre hauteur sous le corps de la chaudière, pour le passage de la manivelle. Les *fig.* 3 *et* 4, *pl.* 24, représentent une autre disposition également simple ; la bielle se termine par une fourche dans laquelle se logent le bouton de la manivelle et les coussinets ; une contre-clavette à talon et une clavette ordinaire complètent l'assemblage. La clavette est maintenue par deux vis de pression retenues par une petite bande de tôle qui embrasse, par ses extrémités, les têtes à six pans des vis et les empêche de se desserrer en les rendant solidaires ; elle est retenue elle-même au moyen de deux *goupilles* passées dans les têtes de vis.

Les vis et les écrous employés dans le montage des machines locomotives, et surtout dans les pièces du mécanisme, doivent être assujettis avec le plus grand soin, car les secousses et les vibrations indéfiniment répétées, que toutes les parties du système éprouvent, tendent à les faire desserrer. On peut assujettir les vis par le procédé que nous venons d'indiquer, et dont nous avons donné un autre exemple en décrivant les pistons, en emprisonnant leur tête dans une pièce rapportée après coup et qui les empêche de tourner. Pour les écrous, on passe une goupille fendue dans le corps

du boulon, en ouvrant de force ses deux branches; souvent on met deux écrous l'un sur l'autre et une goupille; enfin, on emploie des écrous portant à leur base une collerette taillée en forme de rochet, et dont les dents engrènent avec un petit ressort en acier ou *frein*, qui permet de serrer, mais qui empêche le desserrage spontané; il suffit même de faire appuyer un ressort un peu fortement bandé sur l'un des pans de l'écrou. On assujettit également les clavettes avec des goupilles ou avec des contre-clavettes, fendues à leur extrémité, que l'on ouvre de force après leur mise en place.

Les grosses têtes de bielles des machines à cylindres extérieurs sont quelquefois disposées comme celles qui s'appliquent sur des essieux coudés; mais, le plus souvent, la chape est forgée avec le corps de la bielle (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 23; *fig.* 5 *et* 6, *pl.* 24; *fig.* 1, *pl.* 25). Une clavette, accompagnée quelquefois d'une contre-clavette à talons, fixe les coussinets sur le bouton de manivelle; des goupilles placées au-dessous, et quelquefois en dessus et en dessous, empêchent la clavette de se desserrer ou de se resserrer au delà de ce qui est nécessaire. Souvent on fixe la clavette en pratiquant sur sa tranche et sur celle de la contre-clavette des encoches demi-cylindriques réparties suivant un écartement différent pour chacune d'elles; cette disposition, imitée de celle du *Vernier*, est telle qu'il y a toujours deux encoches qui se correspondent ou que l'on peut faire correspondre sans faire varier d'une manière appréciable le serrage; lorsqu'elles sont exactement en regard, elles forment un trou cylindrique, dans lequel on passe une goupille qui rend la clavette solidaire avec la contre-clavette (*fig.* 3, *pl.* 23). Lorsqu'il n'y a qu'une seule clavette, on y perce deux rangées de trous parallèles, disposées en forme de quinconce, et, par une très-faible augmentation ou diminution de serrage, on arrive toujours à placer un trou tangentiellement au côté supérieur ou inférieur de la chape, pour y passer une goupille.

Les petites têtes de bielles présentent les divers genres d'emmanchements que nous avons décrits pour les grosses têtes de bielles : à chape mobile (*fig.* 1 *et* 2, 7 *et* 8, *pl.* 23), à chape fermée (*fig.* 1, *pl.* 25), à fourche (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 23). Comme la petite tête de bielle

n'a qu'un mouvement de rotation partiel et peu rapide, on se contente souvent d'y percer un œil dans lequel entre, à frottement doux, le boulon d'attache de la coquille du piston (*fig.* 5 *et* 6, *pl.* 23 *et* 25). Quelquefois, on rend celui-ci mobile dans une douille en bronze fixée sur la coquille, ou bien on place dans la petite tête de bielle un coussinet calé par un coin serré latéralement au moyen d'un écrou de rappel (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 24). La grosse tête de bielle doit toujours porter un *godet graisseur* qui renferme une mèche disposée en forme de siphon ; pour la petite tête de bielle, on se contente quelquefois de percer un petit trou dans le côté supérieur de la chape, au-dessus du joint des coussinets.

3° Bielles d'accouplement. — Lorsqu'il est nécessaire d'augmenter l'adhérence, en accouplant les roues motrices, avec une des deux paires ou avec les deux autres paires de roues, on donne à celles-ci exactement le même diamètre qu'aux roues motrices. Si la machine est à cylindres extérieurs, on dispose, sur le moyeu des roues motrices, un bouton à deux tourillons, de diamètres décroissants ; l'un reçoit la bielle motrice, l'autre reçoit la bielle d'accouplement ; celle-ci est placée entre le moyeu et la bielle motrice qui doit, elle-même, être placée, comme l'axe du cylindre, à une assez grande distance de la roue (*fig.* 7 *et* 8, *pl.* 26). Les roues accouplées avec les roues motrices portent, comme elles, un moyeu en forme de manivelle et un bouton placé exactement à la même distance de l'axe que le bouton de la bielle motrice. Lorsque la machine est à cylindres intérieurs, on dispose le moyeu des roues motrices en forme de manivelle, et on lui applique un bouton, comme aux autres roues accouplées ; le rayon des manivelles d'accouplement est alors généralement plus petit que celui des manivelles motrices (*fig.* 5 *et* 6, *pl.* 25). Quelques constructeurs, enfin, qui tiennent à employer un châssis extérieur tout en accouplant les roues, prolongent l'essieu en dehors des boîtes à graisse et calent sur ses extrémités des manivelles en fer forgé, exactement semblables à celles des machines fixes (*fig.* 1, *pl.* 26 ; *fig.* 1, *pl.* 72 ; *fig.* 2, 3 *et* 4, *pl.* 73). Lorsqu'il n'y a que quatre roues accouplées, il n'y

a de chaque côté qu'une seule bielle d'accouplement (*fig.* 2, *pl.* 25). Lorsque les six roues sont accouplées, on distingue deux cas : celui où les deux bielles d'un même côté sont indépendantes l'une de l'autre, et celui où elles sont solidaires. La première disposition (*fig.* 9 *et* 10, *pl.* 24) permet de donner un peu de jeu à chaque bouton extrême pour faciliter le passage des courbes, et se prête mieux aux flexions du châssis et des plaques de garde, mais elle a l'inconvénient d'augmenter la longueur et le porte-à-faux des boutons de manivelles. La seconde disposition (*fig.* 9 *et* 10, *pl.* 23, et *fig.* 7 *et* 8, *pl.* 24) a les avantages et les inconvénients inverses de la précédente; les deux bielles sont réunies au moyen d'un boulon très-court, qui forme une articulation dans le sens vertical; leur faible épaisseur, relativement à leur longueur, permet la flexion nécessaire au passage des courbes.

Les emmanchements des têtes de bielle d'accouplement sont toujours à chape fermée, garnie de coussinets en bronze; ceux-ci sont retenus par une seule clavette en acier, fixée elle-même par des vis de pression, par une contre-clavette ou des goupilles, quelquefois par deux de ces moyens réunis. Les têtes de bielles d'accouplement sont garnies de godets graisseurs à siphon. Elles ont une section rectangulaire et quelquefois circulaire; généralement, elles présentent un léger renflement vers leur milieu, et tendent vers la forme d'un solide d'égale résistance.

Les bielles motrices ou d'accouplement, comme toutes les pièces de résistance qui ont à supporter des efforts considérables, et c'est le cas général, car on proportionne à peu près leur dimension au travail qu'elles ont à effectuer, doivent être amenées par le travail de la forge aussi près que possible de leur forme définitive; de telle manière que l'outil n'enlève que peu de fer lorsqu'elles passent à l'ajustage, parce que la superficie d'une pièce forgée est toujours la partie la plus résistante. On pourrait, dans l'intérêt de la plus grande résistance, les conserver brutes de forge; mais il est nécessaire de les blanchir et de les maintenir constamment polies, pour rendre plus apparentes les fissures, les traces de rupture qui précèdent généralement la rupture définitive.

Sur quelques chemins de fer, où le petit rayon des courbes rend plus graves les chances de rupture, on a attaché au châssis des pièces de fer en forme de coulisses fermées par le bas, dans l'intérieur desquelles les bielles jouent librement, et qui les empêchent de venir buter contre les traverses de la voie ou contre le sol, lorsqu'elles se brisent près de la tête d'avant; on a eu, en effet, des exemples de bielles qui, en butant contre un obstacle rigide après s'être brisées, ont occasionné de très-graves accidents. — La même précaution peut être employée pour les bielles motrices; mais elle ne paraît nécessaire que pour les chemins de fer à courbes de petit rayon, surtout lorsque la nature du fer employé n'est pas de premier choix et lorsque les bielles n'ayant qu'une faible longueur sont peu flexibles.

§ 3. — Mécanisme de la distribution.

Nous avons donné la théorie de la *distribution de la vapeur* dans les machines locomotives; nous avons décrit sommairement son mécanisme, il nous reste maintenant à faire connaître en détail les pièces dont se compose ce mécanisme.

1° Excentrique. — L'excentrique se compose d'une partie fixée sur l'essieu moteur qui prend le nom de *poulie d'excentrique*, et d'une partie mobile qui constitue le *collier d'excentrique* auquel s'attache la *barre d'excentrique*. — La poulie d'excentrique est formée par un disque en fonte, plein et quelquefois évidé (*fig.* 1, *pl.* 32, *et pl.* 27 *à* 32); elle est formée de deux pièces qui se rapportent l'une contre l'autre, en embrassant exactement l'essieu, et qui sont reliées au moyen de clavettes noyées dans l'épaisseur du métal et de contre-clavettes (*fig.* 1 *et* 5, *pl.* 32), ou au moyen de goujons vissés dans une pièce et clavetés sur l'autre (*fig.* 2, *pl.* 32). Les poulies d'excentrique sont calées sur l'essieu au moyen de clefs en acier (*fig.* 2), ou au moyen de vis de pression (*fig.* 5, *pl.* 32); dans ce dernier cas, on ferme la cavité, dans laquelle la vis est noyée, par une petite pièce ajustée à queue d'hironde, qui rend la circonférence continue. Lorsque les poulies

d'excentrique sont pleines, les deux poulies adjacentes sont coulées ensemble, de telle sorte qu'il n'y a que deux pièces pour un même cylindre (*fig.* 1, *pl.* 32); lorsqu'elles sont évidées, et quelquefois aussi lorsqu'elles sont pleines, elles sont indépendantes (*fig.* 2 *et* 3, *pl.* 32). Cette dernière disposition présente un peu moins de solidité; mais elle permet de modifier séparément les conditions de la distribution pour la marche en avant ou en arrière, en faisant varier l'angle d'avance, sans que l'on soit obligé de faire fondre de nouvelles pièces.

La circonférence de la poulie doit être disposée de telle sorte que le collier d'excentrique ne puisse pas s'échapper latéralement; on a commencé par lui donner une forme convexe peu prononcée, qui a été généralement abandonnée (*fig.* 5 *et* 6, *pl* 32); maintenant, on trace une gorge (*fig.* 1, *pl.* 32) sur la circonférence de la poulie ou sur la circonférence intérieure du collier d'excentrique (*fig.* 2 *et* 3, *pl.* 32); cette pièce étant en bronze ou en fer, il vaut mieux, pour éviter toute rupture, adopter ce dernier mode de construction, car les bords de la gorge, qui sont minces, viennent sur le métal le plus résistant et sont moins exposés à être brisés; en même temps, le graissage se conserve mieux.

Le diamètre des poulies d'excentrique dépend du diamètre de l'essieu et de la course du tiroir; il s'augmente de toute la quantité qui est nécessaire pour embrasser l'essieu du côté opposé au centre de l'excentrique et que l'on peut réduire à 0^m 025, en fabriquant en fer la petite moitié, dans le cas où les poulies sont indépendantes. Leur épaisseur varie de 0^m 05 à 0^m 06.

Les colliers d'excentrique embrassent exactement les poulies; la surface de contact affecte des formes variables, ainsi que nous venons de l'indiquer. Ils sont composés de deux pièces, qui se raccordent par contact suivant un plan diamétral (*fig.* 2, 3, 4, 5, 6 *et* 7, *pl.* 32); chacune des deux moitiés du collier porte deux oreilles qui servent de point d'appui aux boulons de serrage. La partie antérieure porte un godet graisseur à siphon, et reçoit la barre d'excentrique.

Différents modes de liaisons ont été adoptés pour réunir la barre au collier d'excentrique; quelques constructeurs font le

collier en fer trempé et soudent la barre à sa partie antérieure (*fig.* 5 *et* 6, *pl.* 32) ; d'autres, et c'est le mode de construction qui a été adopté en premier lieu, ont fait venir de forge sur le collier et sur la barre de larges pattes qui se juxta-posaient et qui étaient réunies par des boulons (*fig.* 4, *pl.* 32). On a cherché à consolider cette disposition, en adoptant un assemblage à queue d'hironde ou à mortaise, mais on y a généralement renoncé pour le mode d'attache représenté *fig.* 2, 7 et 8, *pl.* 32. La queue du collier d'excentrique et l'extrémité de la barre se terminent par de larges embases, assemblées par contact au moyen de boulons fortement serrés ; un téton placé sur la barre dans le prolongement de son axe de figure entre dans un trou percé sur l'embase du collier, suivant une direction passant par le centre, et sert de repère pour le montage. Cette disposition présente un grand avantage, en permettant de conserver à la barre d'excentrique sa longueur, lorsqu'elle diminue par l'usure des colliers, ou de rectifier dans le montage un vice de fabrication ; il suffit, pour cela, de rapporter entre les deux embases des épaisseurs de cuivre ou de fer.

La partie d'arrière du collier ne présente aucune particularité ; lorsque la pompe alimentaire est commandée par l'excentrique de la marche en arrière, elle porte une oreille percée d'un trou pour recevoir le boulon d'attache de la bielle qui mène le plongeur (*fig.* 2, 7 *et* 8, *pl.* 32). C'est quelquefois cette pièce qui porte le godet graisseur.

Les colliers d'excentrique, lorsqu'ils sont indépendants de la barre, sont en bronze. Leur largeur est égale à celle des poulies ; cependant, quand les deux excentriques sont accolés, on réduit leur épaisseur de 0^{m} 001 sur chaque face, afin d'avoir 0^{m} 002 de jeu entre les deux colliers. Leur épaisseur varie de 0^{m} 04 à 0^{m} 05 ; elle doit être assez forte pour que l'on puisse aléser plusieurs fois, tout en conservant une résistance suffisante.

2° Barres d'excentrique. — Les barres d'excentrique présentent deux types distincts, les *barres à fourche* ou *à pied de biche*, terminées par une partie en forme de V (*fig.* 4, 5 *et* 6, *pl.* 32), et

les *barres droites*, qui sont appliquées pour la distribution, au moyen de la *coulisse* de Stephenson (*fig.* 7 *et* 8, *pl.* 32).

La fourche ou le pied de biche présente une ouverture un peu plus grande que l'amplitude totale de la course du tiroir, afin que, lorsque le mécanicien change la marche, l'une des deux branches vienne toujours s'appliquer sur le bouton de la tige du tiroir ou du levier qui le commande, quelle que soit sa position. Les deux fourches sont opposées et viennent alternativement saisir le bouton ; lorsque le système du changement de marche est dans une position intermédiaire, les deux branches de chaque course ne viennent rencontrer le bouton qu'à la limite de leur course et le tiroir reste immobile, recouvrant les deux lumières, c'est-à-dire au *point mort*. Chaque fourche se termine par une cavité composée de deux parties, l'une affectant la forme d'un demi-cylindre, ayant un diamètre exactement égal à celui du bouton qui s'y loge, l'autre formée par les deux plans tangents à la surface de ce demi-cylindre, entre lesquels reste emprisonné le bouton qui doit toujours être en prise avec le pied de biche, quoique le mouvement relatif de ces deux pièces dans le sens vertical ne soit pas exactement concordant.

Chaque pied de biche porte, à son sommet, ou latéralement, une oreille percée d'un trou dans lequel s'engage le boulon qui la relie à la bielle de relevage et aux autres pièces du système de changement de marche que nous décrirons plus loin.

Les barres d'excentrique droites viennent s'attacher, d'une manière fixe, aux deux extrémités d'une pièce spéciale qui porte le nom de *coulisse*, et qui remplit, entre autres fonctions, celle qui est attribuée, dans l'ensemble du mécanisme, aux pieds de biche. La coulisse, relevée ou abaissée avec les barres d'excentrique, comme le sont les barres à fourche, met la tige du tiroir alternativement en rapport avec l'excentrique de la marche en avant et l'excentrique de la marche en arrière, sans occasionner les chocs qui ont lieu nécessairement dans l'ancien système, où il faut que l'une des branches de la fourche vienne frapper le bouton d'enclanchement, pour déplacer le tiroir et le mettre en rapport avec l'excentrique qui doit le commander. Le bouton d'enclanchement est rem-

placé par un coulisseau dont la forme peut varier, comme celle de la coulisse, mais qui termine toujours la tige de tiroir. Les *fig.* 9 *et* 10, 11 *et* 12, *pl.* 32, représentent en détail et à l'échelle de 1/10 deux des principales formes de coulisses adoptées; les *pl.* 27, 29, 30 *et* 31 représentent plusieurs ensembles de barres d'excentrique avec leurs coulisses.

Les barres d'excentrique sont en fer plat, de 0^m 08 à 0^m 09 à un bout, et 0^m 05 à 0^m 06 à l'extrémité opposée à l'excentrique; elles ont 0^m 015 à 0^m 020 d'épaisseur. Dans quelques cas, pour éviter un essieu placé au même niveau que l'essieu moteur, on a coudé l'une des barres d'excentrique (*fig.* 1, *pl.* 29). Les barres d'excentrique droites se terminent chacune par une fourchette qui embrasse la coulisse, et qui est reliée avec elle par un boulon qui la traverse (*fig.* 9, *pl.* 32) ou par deux boutons très-courts, venus de forge sur les côtés de la coulisse et sur lesquels on emmanche de force la fourchette (*fig.* 11 *et* 12, *pl.* 32). Les deux poulies et les deux colliers d'excentrique devant être réunis à la même coulisse, on place celle-ci en regard de l'excentrique de la marche en avant, et on donne à la fourchette qui termine la barre la forme symétrique de la *fig.* 8, *pl.* 32; l'autre barre d'excentrique se termine par une fourchette dont l'une des branches forme le prolongement de la barre et dont l'autre branche est rejetée sur le côté, comme on peut le voir dans la *fig.* 2, *pl.* 29. Quelquefois, on donne du gauche aux deux barres d'excentrique et on les termine par deux fourchettes semblables, en maintenant toujours exactement la coulisse dans un même plan vertical.

Lorsqu'on relève la coulisse au moyen du système de changement de marche, jusqu'au point où le coulisseau de la tige du tiroir occupe son point milieu, le tiroir ne prend plus qu'un mouvement d'une très-faible amplitude, ainsi qu'on peut le reconnaitre, en recherchant par un tracé graphique toutes les positions successives que prend la coulisse pour un tour complet de manivelle; si le recouvrement des bords du tiroir est assez considérable, les lumières restent fermées et le tiroir peut être considéré comme étant au point mort; c'est ce qui arrive lorsque

le tiroir a 0^m 045 et au delà de recouvrement total ; au-dessous de cette limite, le tiroir découvre alternativement chacune des lumières d'une très-petite quantité ; mais cela n'a d'inconvénient sérieux, lorsque la mise au point mort a pour objet seulement d'empêcher la machine de se mettre spontanément en mouvement, que dans le cas où le régulateur n'intercepte pas suffisamment l'accès de la vapeur. Lorsque la coulisse ne sert pas à produire la détente variable, lorsqu'elle remplace seulement les pieds de biche, on l'évase en son milieu, d'une quantité telle, que le tiroir soit amené par la pression d'un des côtés à fermer complétement les lumières et ne soit plus dérangé de cette position lorsque la machine et le mécanisme de la distribution continuent à marcher.

La coulisse, ainsi que les fourches des barres à pied de biche, doit être aciérée et trempée pour résister à l'usure produite par le frottement. On fait, en général, les pièces qui sont en rapport avec la coulisse beaucoup trop faibles, en raison de la fatigue qu'elles ont à supporter ; les tourillons d'attache des bielles de suspension et des barres d'excentrique devraient avoir de 0^m 035 à 0^m 040 de diamètre, au lieu de 0^m 02 à 0^m 025 ; les têtes de celles-ci devraient être assez fortes pour qu'il fût possible d'y rapporter des bagues en bronze ou en acier pour remédier à l'usure ; le coulisseau, lui-même, et son tourillon devraient être également beaucoup plus forts qu'on ne les fait ordinairement.

3° Appareil de changement de marche. — Le mécanisme employé pour *changer la marche* ou pour mettre à volonté le tiroir en rapport avec l'excentrique de la marche en avant ou avec l'excentrique de la marche en arrière, se compose : du *levier de changement de marche* placé à la portée du mécanicien, et qui commande tout le système ; du *secteur*, qui sert à fixer le levier dans ses différentes positions ; de la *barre de relevage*, qui transmet l'action du levier aux autres pièces ; de l'*arbre de relevage* ou de transmission, portant un levier commandé par la barre de relevage et plusieurs leviers qui agissent sur les barres d'excentriques au moyen de *bielles de suspension*, et dont l'un porte souvent un *contre-poids* destiné à

équilibrer le système lorsque ces différentes pièces ne sont pas disposées de manière à ce que leurs propres poids se contre-balancent.

Le levier de changement de marche est formé généralement par une barre droite (*fig.* 3, *pl.* 27; *fig.* 1, *pl.* 28; *fig.* 1, *pl.* 29; *fig.* 1, *pl.* 31; *fig.* 1 *et* 2, 3 *et* 4, *pl.* 33), mobile autour d'un axe de rotation fixé à la chaudière ou mieux au châssis. Cette barre constitue un levier du *premier genre* ou du *second genre*, suivant que l'axe de rotation est placé dans un point intermédiaire de sa longueur ou à son extrémité; à sa partie supérieure, il porte une *manette* qui en facilite le maniement. Quelquefois, le levier de changement de marche est coudé, comme l'indique la *fig.* 1, *pl.* 33. Le secteur est formé par deux barres de fer cintrées en arcs de cercle, qui embrassent le levier et lui servent de guide, ou par un seul arc qui passe dans une douille de même section attachée au levier, et qui en guide encore le mouvement. L'un des deux arcs, ou l'arc unique du secteur, porte des encoches qui correspondent aux points où le levier doit être fixé; celui-ci porte un *verrou* pressé par un ressort et qui peut se loger dans chacune des encoches du secteur, qu'il remplit exactement; la poignée du verrou est située au-dessous de la manette du levier lorsque celle-ci est à angle droit avec le levier, ou lui est juxta-posée lorsqu'elle en forme le prolongement, de telle sorte que le mécanicien puisse le faire jouer avec la main qui manœuvre le changement de marche (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 33).

Le levier de changement de marche doit être assez long, et le rapport des deux bras de levier doit être assez grand, pour qu'un homme seul puisse changer la marche; la disposition de la *fig.* 1, *pl.* 33, permet de compenser la longueur par la facilité de la manœuvrer, le mécanicien pouvant agir facilement avec les deux mains pour mettre le levier en mouvement, et avec le poids de son corps, pour l'amener à la position extrême de la marche en arrière. La résistance à vaincre est celle du frottement du tiroir sur la table, et accessoirement celle du presse-étoupes et des articulations de la distribution; on calcule celle-ci en raison du rapport des bras de levier. Pour mesurer le frottement du tiroir, on

détermine la pression qu'il supporte à l'extérieur sous l'action de la vapeur qui afflue dans la boite du tiroir et on en retranche la pression exercée à l'intérieur sur les parties qui sont en communication avec les lumières par la vapeur qui s'introduit dans le cylindre et par celle qui s'en échappe.

Il convient d'attacher l'axe de rotation du levier de changement de marche au châssis plutôt qu'à la chaudière, car il est soumis à des vibrations souvent très-fortes qui pourraient occasionner des fuites autour des rivets d'assemblage; en outre, la chaudière éprouvant une dilatation très-notable, à laquelle la barre de relevage ne participe pas, les conditions de la distribution se trouvent altérées, et il peut en résulter des tiraillements nuisibles à la conservation des pièces, dans certaines positions extrêmes.

Cet axe est formé par un gros bouton, forgé avec une patte assez large pour recevoir 4 boulons ou 4 rivets, suivant qu'on la fixe sur le châssis ou sur la chaudière. Il convient également d'aciérer et de tremper la douille qui embrasse l'axe de rotation et celle qui reçoit le boulon d'attache de la barre de relevage, ainsi que ces boulons eux-mêmes, pour éviter aussi longtemps que possible toute espèce de jeu dans ces organes qui sont soumis à des vibrations incessamment répétées. On acière aussi l'extrémité du verrou et les dents du secteur. Le mode d'attache du verrou a une grande importance; on se contente quelquefois de le faire passer dans un guide rapporté avec des vis sur le levier, mais il faut que le guide soit venu de forge avec le levier et qu'il ait une certaine étendue, comme dans la nouvelle machine du chemin de fer d'Orléans (*fig.* 1, *pl.* 70).

Le secteur est boulonné, comme l'axe de rotation, sur la chaudière ou sur le châssis; s'il est composé de deux pièces, l'une seulement est fixée ainsi; l'autre doit pouvoir être enlevée pour faciliter les réparations: elle est assujettie à la première au moyen de boulons.

Dans ce dernier cas, les deux parties du secteur doivent être pourvues de dents qui se correspondent pour recevoir le verrou, qui, s'il engrenait avec un seul arc de cercle, manquerait de solidité. On voit, sur les *fig.* 1 *et* 2 de la *pl.* 30, une disposition de secteur

assez avantageuse, en ce qu'elle rend le secteur et l'axe de rotation solidaires entre eux et indépendants de la dilatation. Le secteur doit être placé aussi loin que possible du point de rotation du levier, afin que l'arc parcouru par le verrou soit aussi grand que possible et puisse recevoir un grand nombre de crans.

La barre de relevage a depuis 2^m jusqu'à 4^m de longueur, suivant les dispositions de la machine et en particulier de la distribution ; sa forme est celle d'une barre de fer plate, placée de champ, et affectant d'assez loin la forme d'un solide d'égale résistance ; cette dernière forme est nécessaire pour l'empêcher de fléchir sous son propre poids, en raison même de sa grande longueur. Elle s'attache au levier de changement de marche par un boulon fixé au moyen d'un écrou et d'une rondelle *(fig.* 3 *et* 4, *pl.* 33 *et autres)*; elle s'attache de même à son autre extrémité au levier qui commande l'arbre de relevage ; elle se termine généralement par une fourchette qui prend le boulon de part et d'autre du levier. On dispose quelquefois un ou deux guides qui limitent son déplacement latéral, pour l'empêcher de fouetter.

L'arbre de relevage, lorsque les barres d'excentriques agissent sur la coulisse de Stephenson, porte quatre ou cinq leviers : un pour recevoir l'action de la barre de relevage, deux autres recevant les bielles de suspension des deux coulisses, et le dernier ou les deux derniers portant les contrepoids *(pl.* 27, 29, 30 *et* 31). On fait quelquefois venir ces leviers de forge sur l'arbre, sur une longueur de 0^m 10 à 0^m 20, pour souder ensuite à ces amorces les barres de fer qui les complètent ; on a commencé par les ajuster au moyen de clavettes ; mais on peut se contenter de les souder par encollage, aujourd'hui que le travail de la forge est assez perfectionné pour qu'un tel mode de soudure donne toute espèce de garantie.

L'arbre de relevage doit être très-fort pour résister à la torsion ; son diamètre varie de 0^m 05 à 0^m 08. Il est solidement encastré à ses extrémités dans de larges paliers fixés aux longerons intérieurs des châssis et garnis de coussinets en bronze, ou plus simplement en fonte ; quelquefois, on remplace le palier par une crapaudine

en fer aciéré sur laquelle l'arbre s'appuie par son extrémité. On est souvent obligé de couder latéralement le levier qui reçoit la barre de relevage ; dans quelques cas, on a percé un trou dans le longeron du châssis, en ayant soin de lui donner un renflement convenable, pour y faire passer le prolongement de l'arbre et lui appliquer un levier droit.

Les bielles de suspension doivent se composer chacune de deux barres de fer formant moise et appliquées sur les deux faces latérales de la coulisse et de la douille du levier qui les rapporte ; elles s'attachent au milieu ou à l'une des extrémités de la coulisse ; elles doivent être aussi longues que possible, pour que l'arc que décrit leur extrémité diffère aussi peu que possible de la ligne droite que décrit l'extrémité de la tige du tiroir, lorsque celle-ci est dirigée par un guide fixe.

Dans la distribution au moyen de barres d'excentriques à fourche et sans coulisse, il y a cinq leviers, un pour l'arbre de relevage et quatre disposés deux à deux pour chacune des barres d'excentriques (*fig.* 1, *pl.* 28). Dans l'ancienne distribution de Sharp, il y a un arbre auxiliaire, commandé par l'arbre de relevage et par un levier spécial, qui agit sur les barres d'excentriques de la marche en arrière (*fig.* 1, *pl.* 27).

4° Tiroirs. — Les tiroirs ont la forme indiquée par la *fig* 1, *pl.* 3, et par les *fig.* des *pl.* 27, 28, 30 *et* 31 ; ils sont en bronze ou en fonte ; ce dernier métal est assez généralement préféré ; il nécessite plus de soin pour le graissage, mais il donne de plus belles surfaces de frottement et dure plus longtemps sans réparations que le bronze. Les dimensions des tiroirs sont en rapport avec celles des lumières, mais les unes et les autres ne peuvent pas être augmentées au delà de certaines limites, car la pression que la vapeur exerce sur leur surface deviendrait trop considérable, lorsque le régulateur perd et lorsqu'il est nécessaire de changer la marche ; le frottement développerait, en outre, un trop grand travail résistant, et des tiraillements essentiellement nuisibles au mécanisme de la distribution ; il y a donc un point vers lequel il convient de

s'arrêter, lorsqu'on augmente la section des lumières d'échappement et d'admission pour faciliter le passage de la vapeur; nous donnerons plus loin les dimensions des tiroirs et des lumières de plusieurs machines.

Les tiroirs sont horizontaux (*fig.* 1 *et* 2, 3 *et* 4, *pl.* 18), verticaux (*fig.* 5 *et* 6, 7 *et* 8, *pl.* 18; *fig.* 5 *et* 6, *pl.* 19), ou obliques à l'horizon et placés en dessus (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 20) ou en dessous (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 19). Dans le premier cas, la pression de la vapeur et le cadre qui les embrasse les maintiennent suffisamment; dans le second, ils sont portés sur une rainure pratiquée sur la boite à tiroir; ils sont, de plus, retenus par le cadre qui les enveloppe, auquel sont appliquées deux tiges, la tige du tiroir qui glisse dans le presse-étoupes et une fausse tige qui glisse dans un guide ou dans un second presse-étoupes dépendant de la paroi d'avant de la boite de tiroir; dans le dernier cas, ils sont maintenus de la même manière, et de plus ils viennent s'appuyer sur des nervures que porte, à cet effet, le couvercle de la boite du tiroir (*fig.* 3, *pl.* 19). Il est nécessaire que le tiroir puisse se soulever d'une petite quantité dans le cadre qui le mène, pour laisser rentrer l'air ou l'eau refoulée par le piston; un ressort qui prend son point d'appui sur le cadre lui-même sert à le tenir appliqué sur la table du cylindre, lorsqu'il est vertical ou en dessous, sans cependant faire obstacle au *soulèvement* qui doit avoir lieu dans quelques cas, comme nous venons de l'indiquer.

On donne généralement à la partie creuse du tiroir une forme convexe à l'intérieur pour faciliter le dégagement de la vapeur (*fig.* 1, *pl* 28). Nous avons déjà eu l'occasion de parler des rebords dont le tiroir est pourvu; nous y reviendrons encore, lorsque nous aurons à donner quelques indications sur le règlement de la distribution.

Le *cadre* ou *guide* qui embrasse le tiroir est en fer forgé; il est soudé à la tige, lorsque la paroi d'avant de la boîte à tiroir est mobile; il est fixé à la tige par un assemblage à vis (*fig.* 4, *pl.* 19), ou quelquefois par des clavettes, lorsque le couvercle de la boîte du tiroir est seul mobile; cette dernière disposition est mauvaise et doit être évitée. Ainsi qu'on l'a vu, ce cadre porte souvent une

fausse tige, qui concourt à guider le tiroir dans sa direction régulière, en même temps qu'elle lui sert de support, s'il est vertical ou renversé ; cette fausse tige passe dans un guide fermé ou dans une boîte à étoupes. Le cadre du tiroir est en fer de premier choix ; la tige est en fer ou mieux en acier, et, dans ce dernier cas, elle doit être parfaitement tournée.

Quand la transmission du mouvement des excentriques aux tiroirs est directe, la tige du tiroir se raccorde toujours avec une pièce qui la prolonge et la met en rapport avec la coulisse de distribution ; cette pièce est guidée par des supports reliés au châssis ou à la chaudière ; elle porte assez improprement le nom de *guide de la tige de tiroir*. Dans les premières machines construites sur les plans de Stephenson, la tige du tiroir était reliée avec son guide par un emmanchement à clavette, qui éprouvait de fréquentes ruptures ; quelques constructeurs ont employé, afin de pouvoir régler à volonté la longueur de la tige du tiroir, un double écrou (*fig.* 6 *et* 7, *pl.* 33) ; mais la disposition qui a prévalu est celle que représentent les *fig.* 2, *pl.* 27, et *fig.* 1, *pl.* 31 ; le guide se compose d'une pièce carrée glissant dans un palier en bronze ou en fonte, portant à une extrémité le *coulisseau* qui travaille dans la coulisse, et à l'autre une douille qui sert à la fixer à une pièce de raccordement de forme spéciale. Cette pièce est un étrier de fer forgé qui embrasse la douille et s'y rattache par un boulon ; il reçoit à son sommet la tige du tiroir, et s'assemble avec elle au moyen de deux écrous vissés sur son extrémité filetée à cet effet. La longueur de la tige du tiroir peut être augmentée ou diminuée à volonté, ce qui permet de régler exactement sa position ; l'étrier peut être démonté avec facilité, et le tiroir, isolé du mécanisme de distribution peut être mis au point mort ou à l'extrémité de sa course, sans qu'il soit nécessaire de toucher à la coulisse ; enfin, on laisse un certain jeu entre la douille du guide carré et les branches de l'étrier, pour compenser, au besoin, le défaut de montage de cette première pièce et le déplacement qu'elle éprouve au fur et à mesure de l'usure de son palier. Les *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 29, représentent une modification de cette dispo-

tion. Dans le cas où la distance de l'essieu moteur au cylindre est très-considérable, le guide carré, maintenu par son support ordinaire, est prolongé par une tige cylindrique qui glisse dans un autre support ou guide additionnel; l'étrier est formé par deux bielles parallèles, dont la mobilité autour de leurs boulons d'attache remédie en partie aux défauts de montage et aux effets de l'usure du palier du guide carré (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 29).

On remplace avec avantage le guide carré que nous venons de décrire par une bielle de suspension attachée à la chaudière, qui porte le coulisseau et qui est mise en rapport avec la tige du tiroir par une bielle mobile autour de ses deux boulons d'attache; la tige du tiroir n'a pas d'autre guide que la boite à étoupes, au delà de laquelle elle ne présente que la saillie strictement nécessaire (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 30). Cette disposition appliquée depuis longtemps par Sharp et Roberts, peut l'être encore dans beaucoup de cas où le coulisseau est porté par la bielle de transmission, et où celle-ci est attachée directement à la bielle qui la guide. Le coulisseau au lieu d'être assujetti à décrire une ligne droite, est assujetti à suivre un arc de cercle d'un assez grand rayon; le petit déplacement qu'éprouve incessamment le coulisseau dans la coulisse, dont le point de suspension est maintenu sur un arc de cercle, peut se trouver diminué dans cette nouvelle disposition; elle a dans tous les cas l'avantage très-grand de substituer des frottements de tourillons et de boulons, au frottement très-dur du guide carré sur son palier.

Lorsque les machines ont les roues d'avant accouplées avec les roues motrices, et que l'on veut donner aux cylindres une position horizontale ou faiblement inclinée, on emploie divers artifices pour éviter l'essieu d'avant; par exemple, on coude le guide de la tige du tiroir (*fig.* 6, *pl.* 33), ou bien on remplace l'étrier ordinaire par un étrier qui embrasse l'essieu (*fig.* 5, *pl.* 33).

Lorsque la coulisse affecte la forme représentée par les *fig.* 11 *et* 12, *pl.* 32, le guide carré se termine par une partie plate qui pénètre entre les deux flasques de la coulisse et qui porte deux boutons cylindriques au pied desquels est percée une gorge cylindrique,

et sur chacun desquels on ajuste un petit patin en acier qui glisse à frottement doux dans la rainure tracée sur la flasque correspondante de la coulisse; les deux patins sont emprisonnés dans la coulisse, lorsque les deux flasques ont été rapprochées et boulonnées l'une sur l'autre; ils forment, par leur réunion, le coulisseau proprement dit.

On a fait quelquefois des coulisseaux en bronze, mais l'acier trempé doit être seul employé. Lorsque la coulisse a la forme indiquée par la *fig*. 9, *pl*. 32, le guide carré ou le guide à suspension de la *pl*. 30 se termine par une fourchette qui embrasse la coulisse; le coulisseau est formé souvent d'un bloc en deux parties qui embrasse par de légères saillies latérales les branches de la coulisse, et qui est emmanché au moyen d'un boulon avec la fourchette du guide; d'autrefois, ce sont les branches de la fourchette qui embrassent exactement la coulisse et qui servent de guide au coulisseau. La coulisse est décrite suivant un arc de cercle dont le centre est un peu en arrière de l'axe de l'essieu moteur.

Toutes les pièces frottantes et dont il importe d'empêcher l'usure doivent être en acier ou en fer trempé au paquet. Les constructeurs doivent apporter un soin tout particulier à assurer la conservation des pièces dont l'usure ne peut pas être compensée par le serrage de quelques boulons, ou par l'interposition de quelques feuilles de métal, et qui doivent être remplacées ou soumises à des réparations dispendieuses lorsqu'elles ont pris un peu de jeu; ces observations s'appliquent en particulier à la coulisse et à son coulisseau ainsi qu'à toutes les articulations.

Lorsque le mouvement des excentriques n'est pas transmis directement aux tiroirs, la tige du tiroir passe à son extrémité dans un support qui lui sert de guide, et est sollicitée par une bielle à deux branches, articulée autour de ses boulons d'attache, et qui est elle-même commandée par le levier supérieur de *l'arbre de distribution* (*fig*. 1, *pl*. 27, *et* 1 *et* 2, *pl*. 28). Le levier inférieur porte à son extrémité un axe en fer sur lequel est ajusté un rouleau en acier; cet assemblage forme le *bouton* sur lequel viennent s'appliquer les pieds de biche des barres d'excentriques,

Nous n'indiquons du reste cette disposition que pour mémoire, car on a renoncé généralement à son emploi.

5° Application de la coulisse a la détente variable. — Nous n'avons considéré jusqu'ici la coulisse que comme un des éléments du mécanisme de changement de marche; on l'applique en outre à produire la détente variable de la vapeur. Nous avons eu déjà l'occasion, à plusieurs reprises, d'indiquer le parti que R. Stephenson avait tiré de sa coulisse de distribution pour obtenir une détente variable, assez imparfaite au point de vue théorique, mais avantageuse par la simplicité du mécanisme, et très-suffisante pour les besoins de la pratique; nous l'avons décrite et figurée comme moyen de changement de marche, il nous reste à montrer comment elle est appliquée pour produire la détente.

On se rappellera qu'il y a deux modes de construction pour la coulisse: le premier comprend deux flasques qui embrassent le coulisseau, il permet de faire correspondre exactement, soit pour la marche en avant, soit pour la marche en arrière, le coulisseau avec l'extrémité de la barre d'excentrique, et au besoin de lui faire dépasser ce point; il permet de suspendre la coulisse à la bielle de l'arbre de relevage, soit au milieu de sa longueur, soit à l'une des extrémités. Le second mode de construction présente une coulisse d'une seule pièce qui ne peut être attachée aux barres d'excentriques que par des points situés au delà de l'espace parcouru par le coulisseau, et qui ne peut être suspendue que par l'une de ses extrémités. Chaque mode de construction donne à la coulisse, par suite même des dispositions qu'il rend nécessaires ou qu'il permet d'adopter, des propriétés particulières que nous examinerons.

L'inspection des figures que nous avons reproduites et les développements dans lesquels nous sommes entrés en décrivant la coulisse comme moyen de changement de marche, permet de constater un premier fait, c'est que chaque point de la coulisse a un mouvement d'oscillation d'une amplitude d'autant moindre qu'il est plus rapproché de son milieu, de telle sorte qu'au fur et à mesure qu'on change la position du coulisseau dans la coulisse, en relevant ou en

abaissant celle-ci au moyen de l'appareil de relevage, la course du tiroir varie ; elle est au maximum lorsque le coulisseau est aux extrémités de la coulisse, au minimum lorsqu'il est au milieu. C'est du reste ce que l'on peut reconnaître en construisant une épure, qui donne la position de la coulisse, pour chaque position de la manivelle motrice et celle d'un quelconque de ses points ; la *fig.* 1, *pl.* 33 *bis*, représente le parcours effectué dans l'espace, par le point qui correspond à la position moyenne qu'occupe le coulisseau aux extrémités et au milieu de la coulisse, sous l'action combinée des excentriques, des barres d'excentriques et de la bielle de relevage ; cette construction suppose que la coulisse est à double flasque et suspendue par son milieu. La *fig.* 2, *pl.* 33 *bis*, représente le même tracé pour le second mode de construction, la coulisse étant suspendue à une de ses extrémités par une bielle placée au-dessous comme dans la disposition représentée *fig.* 1, *pl.* 31.

La disposition adoptée pour la construction de la coulisse a donc pour premier résultat de produire des courses inégales suivant la position qu'elle occupe par rapport au coulisseau qui, de son côté, est assujetti à rester sur une ligne droite si le guide de la tige est fixe, sur un arc de cercle si ce guide est une bielle de suspension comme dans la machine *le Rhône* (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 30). La coulisse est fixée dans chaque position par l'appareil de relevage dont le levier principal porte, comme nous l'avons vu, un verrou qui s'engage successivement dans chacune des encoches qui peuvent être pratiquées sur le secteur servant de guide à ce levier.

Le fait que nous venons d'énoncer est une conséquence nécessaire de la liaison de la coulisse avec les deux barres d'excentriques ; il est facile de s'en rendre compte par l'examen des figures. Mais il est un autre fait qui constitue, à proprement dire, la propriété de la coulisse considérée comme appareil de détente, c'est la variation qu'éprouve le rapport existant entre la marche du tiroir et celle du piston ; nous ne pensons pas qu'une démonstration géométrique bien complète de cette propriété ait été donnée ; nous n'avons pas cherché à l'établir : nous aurions pu nous trouver entraînés

au delà des limites du cadre que nous nous sommes imposé. Nous ne pouvons que signaler cette lacune qu'il serait utile de combler. Ce dernier résultat avait été déjà obtenu, indépendamment de la liaison des barres d'excentriques, dans la détente de Cabry, qui a précédé celle de Stephenson, et qui consistait dans l'application d'une fourche allongée en forme de coulisse à chacun des pieds de biche de la distribution ordinaire, système qui a fait place à la coulisse de Stephenson dont l'arrangement mécanique est plus convenable et qui donne de meilleurs résultats.

On a donc constaté, comme nous venons de le dire, que la coulisse était un appareil propre à produire la détente variable ; que le volume de vapeur introduit dans le cylindre, diminuait ainsi que la durée de l'introduction, en même temps que la course du tiroir ; en un mot, que la détente se produisait sur une échelle plus ou moins considérable. On peut ainsi, en donnant à la coulisse diverses positions et en se rapprochant de plus en plus de la position où le coulisseau correspond au milieu de la coulisse, faire varier le degré de détente de 1/7 à 1/5, 1/2, 2/3 et même 4/5. C'est ce que l'on reconnaît facilement en ayant recours, pour une machine quelconque, armée de la détente de Stephenson, au tracé d'une épure semblable à celle de la *fig.* 1, *pl.* 4. Au point mort, c'est-à-dire lorsque le coulisseau est au milieu de la coulisse, le tiroir ne reste pas fixe sur son siége ; cela résulte de ce que les rayons d'excentricité ne correspondent pas aux extrémités d'un même diamètre et font entre eux un angle de 120° à 130° ; il y a encore un petit mouvement de déplacement occasionné par la coulisse ; mais, ainsi que nous l'avons déjà dit, le recouvrement est généralement suffisant pour que les orifices des lumières d'admission ne soient plus découverts par les bords extérieurs du tiroir ; ils ne sont découverts que par les bords intérieurs, et la vapeur ne peut plus avoir accès dans les cylindres, ni mettre la machine en mouvement.

La coulisse doit affecter la forme d'un arc de cercle, pour qu'elle puisse glisser sur le coulisseau ; on a reconnu par tâtonnement, que le rayon de cet arc de cercle devait être un peu supérieur à la

distance de l'extrémité d'une barre d'excentrique au centre de l'essieu moteur.

Il serait très-long d'étudier, au moyen d'épures, une distribution à coulisse, pour une machine donnée; on peut se servir d'un modèle en bois, dont on fait varier à volonté les éléments et que l'on fait marcher à la main pour observer, et prendre en quelque sorte sur le fait, le mouvement relatif du piston et du tiroir. Cet appareil (*fig. 1, pl.* 33 *bis*) se compose d'une planche en sapin bien dressée; sur l'une des extrémités de cette planche on fixe deux lattes parallèles, entre lesquelles glisse une planchette en bois qui représente le tiroir; puis on fixe des bandes de papier sur la planchette où l'on figure le tiroir, et sur l'une des lattes où l'on trace les lumières du cylindre. La planchette figurant le tiroir porte un prolongement auquel on attache un coulisseau, la coulisse étant elle-même formée par une pièce de bois, et portant une rainure en arc de cercle dans laquelle s'engage ce coulisseau. Vers l'autre extrémité de la planche, à la distance réelle de la coulisse à l'axe de l'essieu moteur, se trouve un boulon, traversant une planchette terminée par une pointe, qui indique les diverses positions de la manivelle; sur cette première planchette on en place une seconde de forme circulaire, représentant l'un des excentriques. Une rainure, faite suivant un diamètre, laisse passer le boulon d'axe et sert à faire varier la course d'excentricité. On règle l'angle de calage en inclinant plus ou moins l'axe de ce disque, par rapport à la manivelle; on fixe enfin la position de cet excentrique par une vis qui traverse les deux planchettes. Une latte de sapin, prise sur un collier qui embrasse cet excentrique, figure la barre d'excentrique. Pour figurer le deuxième excentrique et sa barre, on se sert d'une latte de sapin qu'on fixe au moyen d'une vis, d'une part sur la coulisse, de l'autre sur un point déterminé convenablement sur le premier excentrique. On peut donc varier à volonté et par le déplacement de quelques vis le rayon d'excentricité et les angles de calage.

On comprend également que l'on peut faire varier les points d'attache des barres d'excentriques à la coulisse. Pour la suspension, on se sert également d'une latte en sapin qu'on passe en dessous de

la coulisse et qu'on attache d'un bout à celle-ci, au moyen d'une vis, au point où on veut la suspendre, et de l'autre à un point qui correspond à l'extrémité du levier de relevage, sur la planche servant de table. Pour faire varier la détente, on trace sur la table l'arc décrit par l'extrémité du levier de relevage, et c'est sur les différents points de cet arc que l'on fixe successivement l'extrémité de la bielle de suspension qui entraîne la coulisse.

Pour comparer la course du piston avec celle du tiroir, on trace sur la table le cercle décrit par la manivelle, puis la ligne droite qui correspond à l'axe du cylindre ; on divise celle-ci en cent parties égales, et de l'extrémité de chaque division comme centre, avec une ouverture de compas égale à la longueur de la bielle, on décrit des arcs de cercle qui viennent couper le cercle de la manivelle aux différents points que cet organe occupe pour les positions correspondantes du piston et l'on numérote ces points ; par ce moyen, la pointe placée sur la première planchette qui représente la manivelle, indique pour chaque position du tiroir les positions correspondantes du piston.

On a ainsi, en vraie grandeur, un spécimen exact du mécanisme, dont le jeu correspond exactement à celui des pièces de la machine, et qui permet d'observer toutes les circonstances du mouvement relatif du piston et du tiroir et de chercher par tâtonnements quelles sont les dispositions les plus favorables pour obtenir une bonne distribution et une détente régulière et prolongée dans des limites étendues. C'est au moyen de cet appareil qu'ont été relevés les diagrammes des *fig. 2 et 3, pl. 33 bis*, et qu'ont été combinées, pour la plupart, les distributions que nous citerons plus loin comme exemples.

Les éléments qui influent sur le jeu de la coulisse sont très-multipliés ; si les deux rayons d'excentricité étaient exactement dans le prolongement l'un de l'autre, et si la longueur de la coulisse entre les points d'attache des barres d'excentriques était exactement égale à la distance des deux centres des excentriques, la coulisse étant suspendue par son milieu, le système formerait un parallélogramme articulé dans lequel le milieu de chacun des petits côtés resterait

fixe ; chacune des extrémités de la coulisse décrirait un arc de cercle, autour de son milieu comme centre. Mais il n'en est pas ainsi, les deux rayons d'excentricité sont déplacés d'une quantité égale à l'avance angulaire et font entre eux un angle obtus; en outre, chacun d'eux a une dimension bien inférieure à la demi-longueur de la coulisse. Ce sont là de premières causes de perturbation ; il en résulte que la coulisse se déplace en entier, y compris son point milieu ; en se déplaçant ainsi elle entraîne la bielle de suspension, qui réagit à son tour sur son mouvement, puisque l'extrémité de cette bielle et par conséquent le point correspondant de la coulisse sont assujettis à rester sur un arc de cercle. C'est sous l'influence de ces actions perturbatrices que les points principaux de la coulisse décrivent les diagrammes des *fig.* 2 *et* 3, *pl.* 33 *bis.* Il y a donc à chaque oscillation de la coulisse un certain mouvement qu'elle prend par rapport au coulisseau, et qui est représenté par les ordonnées positives ou négatives de ces diagrammes dans le cas de la *fig.* 2, *pl.* 33 *bis*, si la tige du tiroir est rigide, et par l'écart qui a lieu entre l'arc décrit par le coulisseau, lorsqu'il est guidé par une bielle de suspension (*fig.* 1 *pl.* 30) et les points correspondants des diagrammes (*fig.* 2, *pl.* 33 *bis*). Ce déplacement relatif de la coulisse et du coulisseau, qui se reproduit à chaque oscillation, exerce lui-même une influence subsidiaire sur la marche du tiroir ; car le coulisseau, lorsque la coulisse est très-inclinée sur l'horizon, décrit un parcours moins long que celui de l'extrémité de la barre d'excentrique, et par suite la course du tiroir est diminuée. En modifiant les dimensions de ces éléments, on peut faire varier à l'infini les conditions de la marche du tiroir ; on peut même produire des variations importantes en modifiant seulement les dispositions des pièces, par exemple en changeant le rayon de courbure de la coulisse, en croisant les barres d'excentriques au lieu de les maintenir écartées l'une de l'autre, etc.

Ce que nous venons de dire s'applique au cas où le coulisseau correspond aux positions extrêmes de la coulisse ; les modifications apportées à la marche du tiroir sont encore plus marquées lorsque la coulisse est dans une de ses positions intermédiaires, car le cou-

lisseau cesse alors d'être sous l'influence à peu près exclusive de l'un des deux excentriques, pour recevoir plus directement l'action de l'autre; en outre, pour arriver à cette position intermédiaire, il a fallu faire jouer l'appareil de changement de marche et déplacer le point d'attache de la bielle de suspension sur le levier de relevage.

C'est l'étude et la mesure exacte de l'influence exercée par chacun de ces éléments qui constituerait la *théorie* de la coulisse; si cette théorie était faite, elle permettrait de déterminer *a priori* quelle serait la marche du tiroir pour chacune des positions du levier de changement de marche, ou les dispositions à donner à la distribution pour obtenir une variation déterminée dans la marche du tiroir. A défaut de cette théorie, on se sert de l'appareil que nous avons décrit, ou de tracés graphiques, pour rechercher par tâtonnements et par une série d'essais quelles dimensions et quelle position il convient de donner aux pièces pour obtenir approximativement le résultat cherché, c'est-à-dire tantôt la régularité de la distribution aux points extrêmes en sacrifiant au besoin la détente, tantôt la prolongation de la détente dans des limites très-étendues, tantôt la régularité de la marche en arrière au même degré que celle de la marche en avant, etc.

En rapportant quelques exemples, nous montrerons ce que produit la coulisse, sous l'inflence de certaines combinaisons; nous citerons les résultats numériques, en indiquant les combinaisons particulières qui ont pu exercer une influence sur les résultats, et nous tâcherons de faire ressortir les préceptes pratiques qu'on peut en déduire. Nous rappellerons seulement que, pour qu'une distribution soit dans des conditions normales, il faut qu'elle présente une certaine avance linéaire à l'admission pour éviter le retard qui aurait lieu effectivement par suite du jeu des pièces; une certaine détente pour économiser la vapeur dépensée; de l'avance à l'échappement pour faciliter le dégagement de la vapeur et diminuer la contre-pression sur le piston pendant sa marche rétrograde; elle doit présenter en outre une certaine compression, qui est la conséquence des autres éléments et qui dans une certaine mesure est utile, en ce qu'elle remplit en partie les espaces nuisibles où s'accumule-

rait, sans produire aucun effet utile, une partie de la vapeur prise sur la chaudière. — On peut admettre comme spécimen d'une distribution normale, avec faible détente, la distribution des machines à voyageurs du chemin de fer du Nord, que nous avons fait connaître page 66, et qui donne :

Avance linéaire à l'admission..............	$0^m,005$
— — à l'échappement............	$0^m,028$
Introduction de la vapeur..................	$0^m,438$
Détente................................	$0^m,122$
Compression............................	$0^m,042$

— la course du piston étant $0^m,560$. Ce tableau pourra donc servir à apprécier, s'il y a lieu, dans quel sens la détente variable, obtenue au moyen de la coulisse, trouble les conditions d'une bonne distribution.

PREMIER EXEMPLE.

Comme premier exemple on peut citer la machine, n° 48, du chemin de fer de Paris à Orléans, machine à six roues accouplées et à cylindres intérieurs, construite par Stephenson ; le rayon d'excentricité est égal à $0^m,057$, et l'avance angulaire des deux excentriques à 30°; le recouvrement extérieur étant égal, pour chaque bord du tiroir, à $0^m,025$; le recouvrement intérieur, à $0^m,003$; les barres d'excentriques étant croisées, on avait les résultats suivants :

TABLEAU N° 1.

POSITION DU LEVIER de CHANGEMENT DE MARCHE (1)	1re POSITION.		2e POSITION.		3e POSITION.		4e POSITION.	
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire du tiroir (en millimètres)......	+2,5	+1,5	+1	0	—1	—1	—2	—2
Ouverture maxima des lumières (en millim.)	35	31	25,5	21	16,5	12	8	3,25
Admission en centièmes de la course.........	0,75	0,83	0,67	0,77	0,56	0,65	0,37	0,34
Echappement mesuré à partir de l'extrémité de la course (en mill.)	37	29	47	34	69	47	113	76
Compression (d°)......	40	40	48	64	70	98	101	147
Course du tiroir (d°)...	46		96		79		61,5	

Dans la même machine, en décroisant les barres d'excentriques, sans rien changer aux tiroirs ni aux angles de calage, en raccourcissant seulement la tige du tiroir, on a obtenu les résultats suivants :

TABLEAU N° 2.

POSITION DU LEVIER de CHANGEMENT DE MARCHE	1re POSITION.		2e POSITION.		3e POSITION.		4e POSITION.	
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire du tiroir (en millimètres).....	+3	+2	+5	+4	+7	+6	+7	+7,25
Ouverture maxima des lumières (en millim.)	32	32	21	22,5	12	15	8	10
Admission en centièmes de la course.........	0,77	0,81	0,65	0,70	0,44	0,53	0,17	0,32
Echappement (en mill.)	33	33	57	63	100	118	182	198
Compression (d°)......	41	44	83	73	147	129	235	225
Course du tiroir (d°)...	116		95		77		68	

(1) Chaque numéro correspond à l'un des crans du secteur, qui maintient le levier de changement de marche ; chaque colonne se subdivise en deux

Enfin, en conservant l'avance de 30° pour l'excentrique de la marche en avant, en réduisant à 28° celle de la marche en arrière, en portant à $0^m,062$ le recouvrement extérieur total des deux bords et à 0,007 le recouvrement intérieur, on est arrivé à régler la distribution de la manière suivante :

TABLEAU N° 3.

POSITION DU LEVIER de CHANGÉM^t DE MARCHE.	1re POSITION		2e POSITION		3e POSITION		4e POSITION		5e POSITION	
	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant
Avance linéaire du tiroir (en millimèt.).	+ 5	— 2,5	+1,25	—1,25	+ 2	0	+ 3	+ 1	+ 3,5	+ 1,5
Ouvert^e maxima (d°).	29	24	24	20	19	16	14	12	10	8
Admission en centièmes...............	0,71	0,71	0,68	0,72	0,60	0,64	0,51	0,54	0,39	0,40
Échappem^t (en mill.)	30		40		50		70		98	
Compression (d°).....	60		75		90		120		160	
Course du tiroir (d°).	115		104		95		87		78	

L'examen de ces tableaux donne une idée exacte des résultats que fournit l'emploi de la coulisse; lorsqu'on fait marcher le levier de changement de marche vers le point mort, la course diminue, l'ouverture maxima des lumières diminue, la portion de la course pendant laquelle la vapeur est admise diminue, l'avance à l'échappement augmente, la portion de la course dans laquelle la compression a lieu augmente également; — quant à l'avance à l'admission, elle diminue lorsque les barres d'excentriques sont croisées, et elle augmente lorsqu'elles sont droites ou non croisées.

L'expérience n'a pas encore permis de mesurer exactement quelle est l'influence de la diminution successive d'ouverture des lumières; cependant, il résulte d'expériences actuellement en cours d'exécution que si leur rétrécissement avait, comme on devait s'y

parties, l'une pour l'arrière du cylindre, l'autre pour l'avant. — Les signes + ou — sont employés pour caractériser l'avance proprement dite, et l'avance négative ou le retard du tiroir.

attendre, pour résultat, de produire une grande différence de tension de la vapeur entre la chaudière ou plutôt entre la boîte des tiroirs et les cylindres, on pourrait cependant obtenir encore sur les pistons des pressions assez fortes pour que le travail de la vapeur ne fût pas placé dans des conditions trop défavorables; il est incontestable, dans tous les cas, que le mal produit est moins grand que lorsqu'on a recours au régulateur pour modérer l'action de la vapeur.

La détente varie dans des limites assez écartées, puisque l'on peut réduire l'admission à 40 et 30 p. 0/0 de la course, et même au-dessous, en étranglant toutefois le passage de la vapeur. — On n'arrive pas toujours à obtenir une admission égale de chaque côté du piston lorsque la détente est prolongée, mais il n'y a à cela qu'un inconvénient assez faible, car on ne détend que lorsque la machine est lancée et lorsqu'elle fait volant par sa masse. — L'avance à l'échappement diminue l'effet utile de la vapeur, lorsqu'elle dépasse la limite de 5 à 6 centimètres; mais, comme la vapeur ne s'échappe pas instantanément, cette influence n'est pas aussi nuisible qu'on pourrait le supposer au premier abord, et elle doit être en partie compensée par la diminution de la contre-pression derrière le piston, pendant sa course rétrograde.

Quant à la compression, au delà de certaines limites, elle peut devenir nuisible en créant un travail résistant; mais, comme elle ne devient considérable qu'autant que la détente est très-prolongée, qu'autant qu'il y a une grande avance à l'échappement, la tension initiale de la vapeur à l'origine de la compression est assez faible, et la compression la fait croître moins rapidement qu'on ne pourrait le croire, d'autant moins que la détente et l'échappement ont pour conséquence forcée un refroidissement du cylindre, qui détermine une condensation équivalente de vapeur; lorsque le volume de la vapeur enfermée dans le cylindre au moment où la compression commence, est un peu considérable, elle se condense au fur et à mesure que sa tension augmente, et elle abandonne sa chaleur latente aux parois du cylindre et du piston, et prévient ainsi la condensation d'une partie de la vapeur arrivant de la

chaudière. — C'est seulement ainsi qu'on peut expliquer pourquoi la tension de la vapeur pendant la compression n'augmente pas suivant la loi de Mariotte, comme cela devrait avoir lieu, s'il n'y avait pas une condensation considérable. En effet, l'espace nuisible dans lequel la vapeur comprimée devrait être accumulée lorsque le piston est à bout de course, et qui se compose de l'espace libre entre le plateau du cylindre et le couvercle du piston, et de la capacité de la lumière, est équivalent à environ 2 centimètres de la course du piston; si la compression a lieu pendant 18 centimètres, la tension derrière le piston étant supposée égale à 1 ^{ath} (elle est en réalité plus considérable), elle devrait acquérir une tension de 10 atmosphères à la fin de la course du piston ; c'est ce qui n'a pas lieu, ainsi que le font voir toutes les expériences qui ont été faites jusqu'ici sur le travail de la vapeur dans les cylindres et dont nous aurons plus tard occasion de parler en détail. — La tension de la vapeur comprimée ne dépasse jamais celle que la vapeur amenée de la chaudière conserve dans l'intérieur du cylindre; elle ne le peut pas, car elle est à saturation et en contact avec des pièces métalliques dont la température a pour limite supérieure celle qui correspond à la tension de la vapeur pendant l'admission.—Le principal défaut, ou plus exactement, la principale imperfection de la détente de Stephenson, est le rétrécissement des orifices d'introduction ; cette détente a, en outre, l'inconvénient de ne pouvoir pas être poussée aussi loin que la détente à deux tiroirs.

Les tableaux qui précèdent permettent de constater l'influence de certains éléments; ainsi l'on reconnait que le croisement des barres d'excentriques a pour effet de diminuer l'avance et même de donner du retard dans les fortes détentes; cette disposition produit une diminution plus rapide de la course du tiroir, mais, par contre, elle donne moins d'avance à l'échappement et moins de compression. — Le croisement des barres peut convenir pour les machines qui doivent travailler habituellement avec peu de détente, mais c'est le cas exceptionnel: les dispositions qui ont donné lieu aux résultats du second tableau, surtout celles qui cor-

respondent au troisième tableau, et qui ont été adoptées définitivement, conviennent à des machines pour lesquelles on doit faire un usage fréquent de la détente; cette dernière distribution se fait remarquer par la régularité de l'admission sur les deux faces du piston. — On a sacrifié avec raison la distribution de la marche en arrière à celle de la marche en avant, car la première ne sert que dans des cas tout à fait exceptionnels.

Lorsqu'on dispose une machine pour fonctionner avec une détente variable, il convient de l'approprier à toutes les circonstances dans lesquelles elle peut se trouver; on doit lui donner des cylindres assez grands pour qu'elle fonctionne encore à détente, lorsqu'elle a le maximum de travail à effectuer (charge ou vitesse); elle a une très-grande puissance pour démarrer, en même temps que la consommation en marche est économique; — dans ce cas, on sacrifie la régularité de la distribution à l'origine de la détente, pour obtenir une distribution plus régulière aux points où l'on marche habituellement; c'est d'après ces dispositions qu'a été réglée la distribution du 3ᵉ tableau, elles sont nécessaires pour concilier les bonnes conditions de l'admission avec une échelle de détente très-prolongée; c'est en les prenant comme point de départ qu'on peut arriver au meilleur résultat possible.

Nous donnerons comme exemple à l'appui des observations qui précèdent, le tableau de la distribution des nouvelles machines à marchandises construites par M. Polonceau pour le chemin de fer de Paris à Orléans (*fig.* 1, *pl.* 70; *fig.* 2, 3, 4, *pl.* 71). Ces machines sont à quatre roues accouplées de $1^m,50$ de diamètre; les cylindres ont $0^m,440$ de diamètre et $0^m,600$ de course, $0^m,070$ de rayon d'excentricité; l'excentrique de la marche en avant a une avance de 21°, celui de la marche en arrière une avance de 10°; — la coulisse est simple; le recouvrement total du tiroir est de $0^m,050$ à l'extérieur et $0^m,011$ à l'intérieur.

TABLEAU N° 4.

POSITION DU LEVIER de CHANGEMᵗ DE MARCHE.	1ʳᵉ POSITION		3ᵉ POSITION		5ᵉ POSITION		7ᵉ POSITION		9ᵉ POSITION	
	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant
Avance linéaire du tiroir (en millim.)...	+2	+1,5	+2,5	+2	+3	+3	+3,5	+3	+4	+3,5
Ouverture maxima des lumières (en mill.).	23	27	16	19	11	13	7	7	5	5
Admission en centièmes de la course...	0,70	0,74	0,60	0,62	0,45	0,46	0,31	0,30	0,18	0,17
Échappemᵗ (en mill.)	35	25	50	41	76	75	110	108	159	174
Compression (dᵒ)....	79	60	114	95	172	150	218	215	300	290
Course du tiroir (dᵒ).	100		88		75		67		60	

Le *recouvrement extérieur* est nécessaire pour que l'on puisse obtenir la détente ; dans les conditions ordinaires de lumières et de course des machines actuelles, on doit donner environ 0ᵐ,050 en totalité ou 0ᵐ,025 de chaque côté ; c'est la dimension qui parait la plus convenable ; à 0ᵐ,062, la machine commence à se lancer plus difficilement et ne démarre pas dans toutes les positions, de telle sorte qu'il convient de ne pas dépasser cette limite ; il est nécessaire de se tenir au-dessous pour les machines à marchandises qui doivent pouvoir démarrer facilement et prendre leur vitesse avec de fortes charges.

Le *recouvrement intérieur* augmente la compression, mais en même temps il sert à empêcher l'échappement de se faire trop tôt ; les dimensions sont limitées par cette double influence, mais elles peuvent varier sans inconvénient marqué, entre des limites assez étendues. — Il est en outre nécessaire de ne pas l'exagérer, car, dans les grandes détentes et avec les petites courses, la lumière d'échappement ne serait plus découverte d'une quantité suffisante ; sa section ne doit pas être réduite au-dessous de 65 à 70 centimètres carrés environ.

Nous avons vu que l'*échappement* avait lieu à une distance de

plus en plus grande de la fin de la course du piston, au fur et à mesure que la détente devenait plus prolongée ; lorsqu'il a lieu trop tôt, il nuit à la puissance de la machine, surtout pour les machines à marchandises, lorsque le mécanisme ne fonctionne pas avec une grande vitesse ; mais il a moins d'inconvénient pour les machines à voyageurs ou à grande vitesse de mouvement : il facilite, au contraire, le dégagement de la vapeur pendant la course rétrograde. — On peut admettre que, pour une admission réduite à 25 p. 0/0 de la course, l'échappement précède la fin de la course de 1/5 de la longueur ou de 0^m 120, pour les machines de 0^m 600 de course.

La *compression* prolongée nuit moins qu'un échappement trop prématuré ; pour les machines à grande vitesse, elle nuit un peu au départ, mais elle donne une marche facile lorsqu'on atteint une vitesse de 50 kilomètres à l'heure, ses effets sont du reste corrélatifs avec ceux de l'échappement. Comme nous l'avons déjà dit, on doit éviter de dépasser le tiers de la course pour l'étendue de la compression, cependant on marche encore bien avec une compression de moitié ; dans ces limites, la condensation doit jouer un rôle très-important, comme nous l'avons fait voir plus haut.

Nous avons déjà indiqué l'effet d'une réduction très-notable dans l'*ouverture maxima des lumières ;* la pratique montre que, pour des admissions de 20 à 25 p. 0/0, une ouverture maxima de 4 à 5 millimètres donne encore des résultats qui ne sont pas trop nuisibles à la bonne marche de la machine. — Il ne faut pas perdre de vue toutefois que les pièces de la distribution, au bout d'un certain temps de service, prennent du jeu et que les courses des excentriques, celle du coulisseau, etc., ne se transmettent plus exactement au tiroir, dont la course diminue au fur et à mesure que les temps perdus augmentent ; c'est pour ce motif qu'il faut donner une *avance linéaire* assez prononcée à l'introduction, comme nous avons déjà eu l'occasion de l'établir ; pour le même motif, il faut éviter de réduire, dans des limites trop étroites, l'ouverture maxima des lumières, car une machine qui, à la sortie du montage, aurait, au dernier cran de la détente, une ouverture maxima de 0^m 005, serait bientôt réduite, après quelque temps de service, à 0^m 003 ou

0^m 002 (1). — A ce point de vue, les avances à l'introduction qui sont indiquées dans les tableaux précédents peuvent, pour la plupart, sembler trop faibles ; elles devraient être portées à 5 millimètres si la détente était fixe, mais, lorsqu'on applique la coulisse pour obtenir la détente variable, il est nécessaire de perdre quelque chose de ce côté, pour ne pas restreindre les limites dans lesquelles la détente peut varier.

On peut tirer parti du calage de l'excentrique de la marche en arrière pour améliorer les conditions de la détente pour la marche en avant, il faut pour cela donner à cet angle une amplitude moindre qu'à l'angle de calage de l'excentrique de la marche en avant. On peut ainsi pousser la détente assez loin, sans que l'avance à l'échappement et la compression se trouvent augmentées dans des limites plus étendues que si la symétrie du calage avait lieu ; mais, en réduisant l'angle de calage de la marche en arrière, on évite d'avoir du retard à l'introduction pour les premières positions du levier de détente; par compensation, on a un retard assez considérable pour la marche en arrière ; il n'y a à cela aucun inconvénient sérieux, et l'allure générale de la machine n'en est pas moins améliorée.

On obtient encore une partie de ces effets en donnant au tiroir plus de recouvrement extérieur du côté d'arrière et en donnant à la marche en arrière une avance linéaire moindre qu'à celle d'avant.

Les tableaux suivants établiront l'influence que nous venons de signaler :

1er *Cas*. — Calage de l'excentrique de marche en avant.			30°
» » » en arrière.			30°
Recouvrement intérieur total.....................			0^m 045
» extérieur	coté d'avant.. 0^m 0275	total.	0^m 065
	coté d'arrière. 0^m 0375		

(1) Le temps perdu deviendrait beaucoup plus faible, si le tiroir n'était pas soumis à une pression considérable ; plusieurs personnes ont imaginé, dans ces derniers temps, des combinaisons pour décharger le tiroir de la plus grande partie de la pression qu'il supporte, mais on n'a, jusqu'ici, rien présenté d'utilement applicable.

TABLEAU N° 5.

POSITION DU LEVIER de CHANGEMENT DE MARCHE.	MARCHE EN AVANT.						MARCHE EN ARRIÈRE.	
	1re POSITION.		2e POSITION.		3e POSITION.			
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire du tiroir (en millimètres)......	— 3	— 1	— 0,5	+ 2	+ 0,5	+ 2,5	+ 3	+ 5
Ouverture maxima des lumières (en millim.).	27	25	11,5	10,5	9	8	25	25
Admission en centièmes de la course.........	0,70	0,76	0,40	0,48	0,30	0,35	0,60	0,70
Échappement (en mill.).	18	18	55	55	75	80	35	35
Compression (d°)......	50	50	125	125	150	150	75	75
Course du tiroir (d°)...	118		88		82		115	

2e *Cas*. — Calage de l'excentrique de marche en avant. 30°

» » » en arrière. 36°

Recouvrement intérieur total......................... 0m 015

» extérieur { côté d'avant.. 0m 035 / côté d'arrière. 0m 039 } total.. 0m 074

TABLEAU N° 6.

POSITION DU LEVIER de CHANGEMENT DE MARCHE.	MARCHE EN AVANT.						MARCHE EN ARRIÈRE.	
	1re POSITION.		2e POSITION.		3e POSITION.			
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire du tiroir (en millimètres)	— 6	— 5,5	— 0,5	+ 0,5	+ 1	+ 2,5	+ 1,5	+ 2
Ouverture maxima des lumières (en millim.).	27	24	11	10	8,5	7,5	25	22
Admission en centièmes de la course)	0,70	0,77	0,40	0,45	0,30	0,35	0,60	0,68
Échappement (en mill.).	15	20	50	55	75	75	35	30
Compression (d°)......	45	45	125	120	150	150	75	70
Course du tiroir (d°)..	112		90		84		118	

3e *Cas*. — Calage de l'excentrique de marche en avant. 30°
» » » en arrière. 18°

Recouvrement intérieur total..................... 0m0125

» extérieur { côté d'avant.. 0m 026 / côté d'arrière. 0m 035 } total. 0m 061

TABLEAU N° 7.

POSITION DU LEVIER de CHANGEMENT DE MARCHE.	MARCHE EN AVANT. 1re POSITION. Arrière.	Avant.	2e POSITION. Arrière.	Avant.	3e POSITION. Arrière.	Avant.	MARCHE EN ARRIÈRE. Arrière.	Avant.
Avance linéaire du tiroir (en millimètres)......	— 1	+ 1	+ 0,5	+ 2	+ 0,5	+ 2	— 7,5	— 6
Ouverture maxima des lumières (en millim.).	30	27,5	11,5	10	8	7	14	15
Admission en centièmes de la course.........	0,70	0,78	0,40	0,46	0,30	0,35	0,60	0,68
Échappement (en mill.).	23	25	50	50	75	80	15	15
Compression (d°)......	50	55	125	120	150	150	50	50
Course du tiroir (d°)..	117		80		74,5		88	

Nous avons déjà eu l'occasion d'indiquer en quelques mots l'influence perturbatrice de la bielle de suspension de la coulisse; elle relève la coulisse lorsque le tiroir est à bout de course, et la fait glisser sur le coulisseau assujetti à conserver son mouvement rectiligne; il y a ainsi un peu de perte sur la course du tiroir et sur l'ouverture maxima des lumières. En combinant avec soin la disposition de cette bielle de suspension, c'est-à-dire la position de son point d'attache au levier de relevage, relativement à celle de la coulisse, en l'allongeant autant que possible, on arrive à gagner quelque chose sur l'ouverture des lumières; c'est ce qui résulte du tableau suivant, dans lequel la double colonne A représente, pour un point particulier de la détente, dans les machines nos 30 à 38 du chemin de fer d'Orléans, les circonstances de la distribution primitive; la colonne B, représente les modifications obtenues par une meilleure

disposition de la bielle de suspension, sans changement de sa longueur égale à 0m 252, et la colonne C, indique les résultats que l'on obtiendrait s'il était possible de doubler la longueur de cette bielle.

TABLEAU N° 8.

RÉSULTATS PRINCIPAUX DE LA DISTRIBUTION.	A		B		C	
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire du tiroir (en millimètres)........	+0,25	+ 2	+0,5	+2,25	+0,5	+2,5
Ouverture maxima des lumières (en millimètres).	8,25	7	8,5	8,25	9	8,75
Admission en centièmes de la course.............	0,30	0,35	0,30	0,36	0,30	0,36
Échappement (en mill.)..	75	80	65	75	65	75
Compression (d°).......	150	150	135	140	140	150
Course du tiroir (d°)....	74,5		75,5		76	

Il y a donc avantage à bien établir la suspension de la coulisse, de manière à réduire, autant que possible, le déplacement relatif du coulisseau et de la coulisse. — La perturbation que nous venons d'étudier est à peu près la même dans la coulisse double suspendue par son milieu, et dans la coulisse simple suspendue par l'extrémité qui correspond à la marche en avant. — Cette observation reste vraie tant que la bielle de suspension est au-dessus de son point d'attache et fonctionne en effet comme une véritable bielle de suspension ; mais, si elle est placée au-dessous, si elle supporte la coulisse par arcboutement (*fig.* 1, *pl.* 31), l'inverse a lieu, et la perturbation peut avoir pour effet d'augmenter la course et l'ouverture maxima du tiroir.

La perturbation deviendrait nulle ou insensible pour la première position de la distribution, si la tige du tiroir, au lieu d'être guidée suivant une direction rectiligne, était réglée par une bielle articulée, située dans le même plan que la bielle de suspension, portée sur le même axe et ayant sensiblement la même longueur que celle-ci. — Avant d'arrêter le tracé de la distribution d'une machine,

en raison de l'espace qui reste libre pour le montage de son mécanisme, il convient donc de se rendre compte, au moyen de l'appareil que nous avons décrit, des résultats qui peuvent être obtenus dans toutes les combinaisons possibles.

Il existe deux systèmes de coulisse, la coulisse simple et la coulisse double (*fig.* 9 et 10, *pl.* 32, et *fig.* 11 et 12, *pl.* 32). La coulisse double donne des courses plus étendues que la coulisse simple, pour un même rayon d'excentricité, puisque, dans la dernière, les points d'attache des barres d'excentriques sont placés au delà des positions extrêmes que peut prendre le coulisseau ; il est facile de remédier à cet inconvénient en augmentant un peu le rayon d'excentricité. — Dans tous les cas, la coulisse simple est préférable à cause de sa simplicité, de sa solidité et du peu de place qu'elle occupe; — si les ouvertures maxima des lumières sont réduites, on est conduit par contre à diminuer le recouvrement, de telle sorte qu'abstraction faite même des conditions de construction, les inconvénients de la coulisse simple sont balancés par des avantages équivalents. — La coulisse simple nécessite l'application de la bielle de suspension à l'extrémité qui correspond à la marche en avant, tandis que, dans la coulisse double, la suspension se fait généralement au milieu ; — dans le premier cas, les perturbations de la marche en arrière peuvent être augmentées, mais il n'y a aucun inconvénient à cela ; on peut, par compensation, atténuer ou utiliser les perturbations de la marche en avant.

Pour terminer les détails que nous avons à donner sur la distribution, nous allons présenter encore divers exemples de dispositions adoptées sur quelques chemins, et notamment sur le chemin de fer d'Orléans, où M. Polonceau a étudié sous toutes les formes les résultats que l'on pouvait obtenir des moyens actuels de distribution. — Ces faits compléteront les renseignements que nous avons déjà donnés, et qui, s'ils ne font pas connaître d'une manière rationnelle le principe de la détente variable à un seul tiroir, permettront au moins aux constructeurs d'en tirer pratiquement tout le parti possible.

1er Exemple.

Machines à voyageurs du chemin de fer de Paris à Orléans, — nos 113 à 128. — Coulisse double.

Diamètre du cylindre		0^m^ 380
Course de piston		0, 560
Rayon d'excentricité		0, 057
Angle de calage des excentriques	avant	34°
	arrière	31°
Recouvrement intérieur		0, 008
——— extérieur		0, 063

TABLEAU N° 9.

POSITION DU LEVIER de CHANGEMENT DE MARCHE.	1re POSITION.		3e POSITION.		5e POSITION.		7e POSITION.	
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire (en mill.)	+ 1	— 1	+ 2,5	+ 0,5	+ 4	+ 2	+ 4	+ 3,5
Ouverture maxima (d°).	28	25	18	16	10	8	5,25	5
Admission (en centièm^s^)	0,71	0,76	0,56	0,60	0,35	0,35	0,13	0,16
Échappement (en mill.)	31		55		90	100	190	250
Compression. (d°).....	53		85		140	150	145	202
Course du tiroir (d°)..	115		97		81		74	

2e Exemple.

Machines mixtes du chemin de fer de Paris à Orléans, — à 4 roues accouplées, de 1^m^,54 de diamètre. — Coulisse double.

Diamètre des cylindres		0, 380
Course des pistons		0, 560
Rayon d'excentricité		0, 055
Angle de calage	avant	35°
	arrière	37°
Recouvrement intérieur		0, 010
——— extérieur		0, 061

TABLEAU N° 10.

POSITION DU LEVIER.	1re POSITION		3e POSITION		5e POSITION		7e POSITION		8e POSITION	
	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant	Arrière.	Avant
Avance linéaire (en millimètres)........	+ 0,5	0	+ 4,5	+ 3,5	+ 5	+ 5,5	+ 6,5	+ 7	+ 7	+ 7,5
Ouvert^e maxima (d°).	30	26	19	17,5	12	13	8,5	9,5	7,5	9
Admission (d°)......	0,70	0,76	0,54	0,61	0,34	0,49	0,22	0,31	0,14	0,23
Échappement (en m.)	30	31	60	60	86	91	140	138	179	175
Compression (d°)....	53	55	91	95	134	138	196	202	230	243
Course du tiroir (d°).	117		98		88		80		79	

3e Exemple.

Machines à marchandises (système Cavé) du chemin de fer de Paris à Orléans. — Roues de 1m 30. — Coulisse double.

Diamètre des cylindres........................	0m	380
Course des pistons	0,	600
Rayon d'excentricité..........................	0,	057
Angles de calage { avant		35°
Angles de calage { arrière.................		31°
Recouvrement intérieur........................	0,	040
——— extérieur.........................	0,	065

TABLEAU N° 11.

POSITION DU LEVIER.	1re POSITION.		3e POSITION.		5e POSITION.		7e POSITION.	
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire (en m.).	+ 1	+ 1	+ 3	+ 2,5	+ 4	+ 3	+ 4	+ 3
Ouverture maxima (d°).	26	24	18	16	10	9	5	5,5
Admission en centièmes	0,67	0,71	0,54	0,57	0,35	0,36	0,23	0,27
Échappement (en mill.)	40	40	60	60	100	110	96	120
Compression (d°)	70	70	100	100	166	180	176	228
Course du tiroir (d°)..	114		99		83		75	

4e Exemple.

Machine à marchandises avec tiroirs et lumières séparées pour l'admission et l'échappement.

Cette machine a son tiroir d'admission commandé par une coulisse double, et son tiroir d'échappement commandé par des pieds de biche placés sur les barres d'excentriques. — L'essai fait sur une ancienne machine n'a pas été très-complet; il y a eu augmentation de puissance, comme effort de traction et vitesse, mais le mécanisme est compliqué et exige beaucoup d'entretien.

Diamètre des cylindres........................ 0m 400
Courses des pistons.......................... 0, 510
Rayon d'excentricité.......................... 0, 063
Angles de calage { avant............. / arrière............. } 35°
Recouvrement du tiroir d'admission............ 0, 061

TABLEAU N° 12.

POSITION DU LEVIER.	1re POSITION.		3e POSITION.		5e POSITION.		7e POSITION.	
	Arrière.	Avant.	Arriere.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance du tiroir d'admission (en millim.)..	+ 1	0	+ 3	+ 1,5	+ 5	+ 3,5	+ 5,25	+ 4
Ouverture maxima (d°).	28	26	24	21	17	15	11	9
Admission en centièmes	0,70	0,76	0,60	0,66	0,48	0,53	0,32	0,36
Échappement (en mill.)	40		40		40		40	
Compression (d°)......	40		40		40		40	
Course du tiroir d'admission (d°).........	126		114		102		89	
Course du tiroir d'échappement (d°).........	76		76		76		76	

5e Exemple.

Machine de Sharp et Roberts, ancien modèle, dans laquelle on a rendu la course du tiroir variable.

La distribution est à mouvement indirect; les tiroirs au-dessous

des cylindres. — L'arbre de distribution a son levier inférieur commandé par les barres d'excentriques à pied de biche ordinaire; le levier supérieur a la forme d'une coulisse en arc de cercle, présentant sa concavité vers le tiroir; dans cette coulisse, on fait mouvoir, au moyen d'un arbre de relevage spécial, un coulisseau qui termine la bielle de la tige du tiroir; cette distribution a donné les résultats suivants :

Diamètre du cylindre		0, 400
Course du piston		0, 460
Recouvrement intérieur		0, 004
——— extérieur		0, 043
Angle de calage	avant	44°
	arrière	26°

TABLEAU N° 15.

POSITION DU LEVIER.	1re POSITION.		3e POSITION.		5e POSITION.		7e POSITION.	
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire (en mil.)	+ 15	+ 11	+ 8,5	+ 6	+ 3	+ 1,5	— 2	— 3
Ouverture maxima (d°).	35	33	27	25	18	17	11	11
Admission en centièmes	0,67	0,72	0,63	0,68	0,56	0,62	0,49	0,55
Échappement (en mill.)	50		50		50		50	
Compression (d°)......	55		55		55		55	
Course du tiroir (d°)...	124		107		91		77	

6e Exemple.

Machine à voyageurs du chemin de fer d'Orléans (système Buddicom), à détente fixe.

Les excentriques sont calés à 39° 1/2; le recouvrement extérieur est de 0,031 de chaque côté, et le recouvrement intérieur est nul.

TABLEAU N° 14.

SENS DE LA MARCHE.	MARCHE EN AVANT.		MARCHE EN ARRIÈRE.	
	Arrière.	Avant.	Arrière.	Avant.
Avance linéaire (en millimètres)...	+ 7	+ 6	+ 1	0
Ouverture maxima (d°)............	24	24	23	23
Admission en centièmes...........	0,59	0,66	0,65	0,76
Échappement (en millimètres)......	79	61	53	42
Compression (d°)..................	79	61	53	42
Course du tiroir (d°)...............	110		108	

CHAPITRE IV.

Châssis et Supports.

Depuis l'époque du concours de 1829, la partie de la machine locomotive, qui constitue le véhicule, a subi de nombreuses modifications de détails, mais on ne voit apparaître aucun principe nouveau. — Les constructeurs s'appliquent à rendre le châssis plus solide, à le rendre indépendant de la dilatation de la chaudière; la fabrication des essieux s'améliore, ainsi que celle des roues que l'on arrive à construire entièrement en fer forgé; — des essais multipliés sur la nature du métal employé pour les coussinets des roues, aboutissent seulement à faire conserver au bronze la préférence donnée dès l'origine à ce métal.

§ 1. — Châssis.

Le châssis se compose de *brancards* ou *longerons* reliés entre eux par des *traverses;* il forme un cadre sur lequel repose la chau-

dière et tout le mécanisme; il repose lui-même, par l'intermédiaire de *ressorts* et de *boîtes à graisse*, sur les *essieux* des roues, et s'y rattache encore dans le sens horizontal par *les plaques de garde;* il porte comme accessoires un plancher ou *plate-forme*, sur lequel le mécanicien se place pour diriger la marche de la machine, et un système d'*attelage* pour attacher la machine à son tender et l'accoupler à d'autres machines. Nous avons décrit sommairement tous ces éléments, il nous reste à les étudier chacun séparément.

1° Chassis. — Le châssis, considéré isolé des pièces qui s'y rattachent, se compose de deux *longerons* en fer, reliés aux deux extrémités de la machine par des *traverses* en fer et en bois (*fig.* 1, 2, 3 *et* 4, *pl.* 35). — Un cadre ainsi composé ne présenterait pas une rigidité sufisante, mais ses côtés latéraux sont reliés entre eux par les pièces qu'ils supportent, par la boîte à feu, par les cylindres, par les supports du corps cylindrique de la chaudière, et par des *entretoises* appliquées à la partie inférieure des plaques de garde (*fig.* 2 *et* 4). — Chaque longeron porte à ses extrémités de fortes pattes venues de forge, sur lesquelles sont boulonnées les traverses. — Dans l'exemple que nous venons de citer, les longerons sont intérieurs aux roues, et prennent leur point d'appui sur les essieux du côté intérieur des moyeux des roues; le châssis est dit *intérieur*; chaque longeron est formé d'une seule barre de fer forgé de $0^m,03$ d'épaisseur, sur $0^m,20$ de hauteur. — Les *plaques de garde* qui embrassent les boîtes à graisse et qui ont pour fonction de lier invariablement le châssis avec les essieux dans le sens horizontal, sont formées chacune de deux plaques de tôle appliquées de part et d'autre du longeron et assujetties par deux lignes de rivets ou de boulons; quelquefois même, elles font corps avec le longeron.

On a fait pendant longtemps un grand usage des *châssis extérieurs* pour les machines à cylindres intérieurs; les longerons se composaient d'un brancard en bois armé sur ses deux faces latérales de fortes plaques de tôle; ces plaques de tôle portaient des appendices découpés pour former les plaques de garde; les essieux

se prolongeaient en dehors des moyeux et se terminaient par des *tourillons* ou *fusées* sur lesquels portait le châssis. — Des longerons intérieurs, allant seulement de la boite à feu à la boite à fumée, servaient de guides pour l'essieu moteur et de supports aux autres pièces du mécanisme, qui se trouvaient ainsi liées directement à la chaudière et indirectement au châssis, par l'intermédiaire des supports qui reportaient le poids de la chaudière sur les longerons extérieurs. — La *pl.* 38 donne un exemple de cette disposition, qui vient de reparaître dans un nouveau type de machines adopté par M. C. Polonceau, pour le chemin de fer d'Orléans : deux longerons extérieurs en bois et en tôle règnent sur toute la longueur de la machine ; deux longerons intérieurs, attachés au corps cylindrique seulement et reliés par des supports généraux aux longerons extérieurs, règnent depuis le milieu de l'intervalle compris entre l'essieu d'arrière et l'essieu moteur, jusqu'à la paroi antérieure de la boite à fumée, au-dessous de laquelle ils servent de support aux cylindres. Les plaques de garde sont rapportées de part et d'autre des longerons extérieurs, au lieu d'être découpées dans la tôle qui recouvre le brancard en bois. — Les longerons intérieurs portent une paire de plaques de garde correspondant à des boites à graisse et à un ressort additionnel qui détermine une égale répartition de la charge sur les quatre tourillons de l'essieu moteur. — La traverse en bois est remplacée à l'arrière par un système de feuilles de tôle et de cornières qui servent de points d'attache au ressort de traction et aux chaines de sûreté de l'attelage du tender.

Entre ces deux systèmes de châssis vient s'en placer un troisième que l'on peut considérer comme *mixte*, et qui est appliqué aux machines à cylindres extérieurs, dans lesquelles on a voulu charger les roues de support par l'intermédiaire de boites à graisse et de fusées extérieures, tout en plaçant les cylindres à l'extérieur du châssis. — L'exemple le plus saillant est fourni par les machines à voyageurs du chemin de fer de Rouen (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 34); la partie intérieure du châssis est composée de deux longerons qui règnent sur toute la longueur de la machine, embrassant la boite à feu et la boite à fumée, et se reliant à la traverse d'arrière

qui est en bois, et à celle d'avant qui est formée par une feuille de tôle verticale consolidée par des cornières; ces longerons sont rivés sur la boîte à fumée et supportent la boîte à feu au moyen de fers d'angle attachés à celle-ci. — Chaque longeron dans l'intervalle compris entre la boîte à fumée et le foyer est doublé intérieurement d'un brancard en bois et d'une feuille de tôle qui est assemblée au moyen d'équerres sur la boîte à feu extérieure et sur la boîte à fumée. — Ces longerons intérieurs portent des plaques de garde rapportées, et reportent sur les roues motrices la part de charge qui leur correspond. — La partie extérieure du châssis est formée, de chaque côté, d'une feuille de tôle découpée pour recevoir le cylindre, les glissières et la boîte à graisse de la roue d'avant; elle va de l'arrière à 0^m 15 ou 0^m 16 de la traverse d'avant, où elle se relie au longeron intérieur par une tôle verticale et des cornières. — Cette feuille de tôle ou longeron extérieur est doublée à l'avant, sur un tiers environ de sa longueur, par une autre feuille de tôle découpée sur le même gabarit, et qui reçoit avec elle les cylindres et les glissières, et forme la seconde plaque de garde de l'essieu d'avant; l'écartement de ces deux feuilles de tôle est maintenu, par les cornières extrêmes, par des saillies du cylindre (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 18) qui sont prises avec elles par les mêmes boulons, enfin par les glissières en fonte, qui forment une espèce de fourrure. A l'arrière, au delà des roues motrices, le longeron extérieur est relié au longeron intérieur par une plaque de tôle qui est rivée sur des cornières longitudinales et forme le parquet d'entourage.

On trouve un autre exemple de châssis mixte dans les machines Crampton (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 37). — Il se compose de deux châssis complets, l'un intérieur, l'autre extérieur, le premier recevant les boîtes à graisse des roues motrices, dans une entaille venue de forge sur le longeron, l'autre les roues d'avant et celles du milieu ; la partie antérieure du châssis est consolidée par quatre traverses intermédiaires, formées de feuilles de tôle verticales armées de cornières.

On doit éviter, autant que possible, de percer des trous de rivets ou de boulons dans les longerons qui constituent le châssis, afin de

ne pas diminuer leur solidité; dans tous les cas ces trous doivent être répartis avec soin, de manière à ne pas déterminer des sections de faible résistance. — La *pl.* 36 donne les détails de construction d'un châssis intérieur formé d'une seule pièce de fer, dont les plaques de garde sont venues de forge avec les longerons; cette disposition est imitée de Sharp, qui l'a constamment adoptée avec succès. — On remarque que dans ce châssis la partie antérieure des longerons, qui porte le poids des cylindres en porte-à-faux sur l'essieu d'avant, est beaucoup plus forte que les autres; elle se redresse parallèment à l'axe des cylindres, qui sont légèrement inclinés. — Les deux longerons sont entretoisés par les traverses extrêmes, par la boite à fumée et par les cylindres (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 19), par la boîte à feu, par les supports de la chaudière et par le support des glissières (*fig.* 3, *pl.* 36).

La *traverse d'avant* est toujours en bois de chêne de fort équarrissage, de 0m 30 à 0m 40 sur 0m 15 à 0m 25; — elle est droite à sa partie supérieure et souvent renflée à sa partie inférieure pour recevoir les *tampons* de choc; — elle est reliée aux longerons par des pattes venues de forge sur ceux-ci ou par des équerres.— Quelques constructeurs, pour lui donner plus de résistance, lorsque deux machines doivent être attelées ensemble, la relient à la boite à fumée par une ou deux feuilles de tôle.—Elle est en saillie sur toutes les pièces latérales de la machine pour les préserver contre les obstacles de peu de résistance qu'elles pourraient rencontrer pendant la marche; ces saillies servent en outre de point d'appui au parquet ou à la plate-forme qui, dans beaucoup de machines, règne tout autour de la chaudière.

La traverse d'avant porte un *crochet* ou un anneau avec un bout de *chaîne d'attelage*, fixé au moyen d'un boulon et d'un écrou appuyé sur une large rondelle en tôle (*fig.* 2 *et* 3, *pl.* 34). Elle porte en outre deux *tampons de choc*; — ceux-ci sont formés de tresses de chanvre ou de rondelles de feutre pressées dans une enveloppe en cuir épais fixée sur une plaque en tôle que l'on visse ou que l'on boulonne sur la traverse; cette plaque porte en outre une sorte de guide en fer carré qui pénètre dans le bois et sert encore à soute-

nir le tampon.—On a employé quelquefois des tampons en caoutchouc.—L'axe des tampons correspond exactement, par sa position, à celui des tampons des voitures; la hauteur au-dessus du rail varie de 0m 95 à 1m 05; l'écartement d'axe en axe varie de 1m 70 à 1m 80.—Dans les machines à châssis intérieur les tampons sont en porte-à-faux sur les longerons, et lorsque la machine donne ou reçoit un choc, ou, comme on dit habituellement, un *coup de tampon*, il arrive généralement que la traverse se casse et que les pattes des longerons sont brisées, quelquefois même les cylindres sont endommagés lorsqu'ils sont extérieurs; il y aurait avantage à augmenter la résistance transversale de la traverse, en la moisant avec des feuilles de tôle d'une certaine épaisseur.

La traverse d'arrière est souvent en bois; elle porte des *chaînes de sûreté* qui servent à tenir le tender relié avec la machine en cas de rupture de la barre d'attelage, ou bien des anneaux qui reçoivent les crochets de chaînes de sûreté, si celles-ci sont attachées au tender; — elle sert de point d'appui à des tampons en bois placés sur le tender, et qui servent à combattre la tendance de la machine au mouvement de lacet, lorsque la barre d'attelage agit sur un ressort; — comme elle n'a pas d'efforts très-considérables à supporter, on se contente de lui donner 0m 20 à 0m 25 d'équarrissage.—La traverse d'arrière est souvent remplacée par des feuilles de tôle consolidées par des cornières, ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le dire.

2° Supports de la chaudière et des pièces du mécanisme.— Nous avons dit que le châssis supportait le poids de la chaudière et des pièces du mécanisme pour le reporter sur les roues; les *supports* ou *attaches* de la chaudière affectent des formes diverses qui varient suivant les dispositions de la machine et les habitudes des constructeurs. — Pendant longtemps on n'a pas tenu compte de la dilatation des chaudières, dilatation qui est cependant très-sensible et qui peut atteindre la limite de 0m 007 à 0m 008; les longerons intérieurs du châssis étaient rivés ou boulonnés sur la

boîte à feu extérieure comme sur la boîte à fumée ; il en résultait, entre autres inconvénients, des fuites aux points d'attache, des ruptures d'attaches, des gauchissements et des perturbations dans le montage ; les supports qui reportaient le poids de la chaudière sur les longerons extérieurs, lorsque le châssis était extérieur, tendaient à le déverser et à le faire fouetter.—Ces effets sont devenus plus sensibles lorsque la longueur des chaudières s'est accrue dans une proportion très-considérable ; aussi est-on arrivé généralement à faire disparaître la rigidité de l'assemblage de la chaudière avec le châssis, dans le sens longitudinal.—Les longerons sont invariablement liés avec la boîte à fumée et avec les cylindres, mais les attaches sont disposées de telle sorte que la chaudière puisse se dilater et se contracter dans le sens longitudinal ; il a suffi pour cela d'ovaliser, d'une quantité égale à la dilatation de la chaudière en chaque point, les trous de boulons qui servaient à rattacher les supports aux longerons ; —mais en même temps il a fallu intercaler, entre les têtes et les écrous des boulons, des patins qui permissent de serrer à fond, sans que le frottement devînt un obstacle au mouvement, et qui présentassent des parties dressées par l'intermédiaire desquelles les longerons pussent recevoir les charges qu'ils doivent supporter ; en d'autres termes, il a fallu disposer une coulisse qui servît de support intermédiaire et qui glissât librement sur le longeron.

Les supports devraient être, en principe, placés au droit des essieux, mais les roues dont le diamètre est souvent supérieur à la hauteur du châssis, les ressorts, etc., gênent pour cela, et l'on doit se contenter de les rapprocher autant que possible. — Ils sont souvent composés de feuilles de tôle épaisse, placées de champ, fixées à la chaudière, et assujetties ou simplement appuyées sur les longerons du châssis par l'intermédiaire de cornières ; c'est ce qui a lieu pour les machines à châssis en tôle et en bois dont les longerons ont assez de surface pour recevoir des supports de cette forme (*fig.* 6 *et* 7, 13 *et* 14, *pl.* 39 ; *fig.* 1, *pl.* 70 ; *fig.* 2, 3 *et* 4, *pl.* 71). —Lorsque les longerons sont formés d'une seule plate-bande de fer, on se sert de supports en fer forgé, rivés sur la chaudière et

boulonnés sur les longerons (*fig.* 4 *et* 5, 8, 9 *et* 10, 11 *et* 12, *pl.* 39).

Lorsque les longerons sont extérieurs, les supports de la boite à feu et ceux de la boite à fumée ne diffèrent que par leurs dimensions de ceux que nous avons décrits ; lorsqu'ils sont au contraire intérieurs, les parois de la boite à fumée sont prises par les boulons qui attachent les cylindres (*fig.* 5 *et* 6, *pl.* 18), ou sont soutenues au moyen d'un système de doubles cornières (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 18).— La boite à feu extérieure porte des oreilles formées par des appendices ménagés sur les tôles des deux parois adjacentes (*fig.* 3, *pl.* 39) et juxta-posées ; on rive sur ces oreilles des agrafes en fer qui viennent s'appuyer par un talon sur la tranche supérieure du longeron, et qui sont réunies avec lui par des boulons qui traversent les quatre épaisseurs de métal ; ce sont les trous de ces boulons dans le longeron qu'il importe surtout d'ovaliser pour faciliter le jeu de la dilatation.—Il est nécessaire que tous ces supports soient bien ajustés et bien montés pour que chaque partie de la chaudière soit soutenue pour son propre compte, et pour éviter, par suite, des tiraillements à la jonction du corps cylindrique et de la boite à feu extérieure.

Nous avons déjà indiqué une disposition spéciale de support placé en desssous de la chaudière, pour laquelle on utilise le support des glissières (*fig.* 3, *pl.* 36) ; nous signalerons encore la disposition de la *fig.* 3, *pl.* 38, dans laquelle les supports du corps cylindrique s'appuient sur les longerons extérieurs et sur les longerons intérieurs, qu'ils relient à la chaudière et au châssis.

Dans les anciennes machines les cylindres étaient pris, au moyen de deux collets, entre les tôles, formant les parois antérieure et postérieure de la boite à fumée (*fig.* 2, *pl.* 18) ; maintenant on les fixe aux longerons du châssis. On fait venir à la fonte, avec le cylindre et sur toute sa longueur, une sorte d'agrafe consolidée par de fortes nervures ; elle porte un talon qui s'appuie sur le longeron sur lequel elle est fortement boulonnée (*fig.* 5 *et* 6, 7 *et* 8, *pl.* 18). Cette disposition se modifie avec la forme générale de la machine ; les *fig.* 2, *pl.* 19, et 5, *pl.* 35, représentent un mode de construc-

tion dans lequel le longeron s'ouvre pour donner passage à la boîte du tiroir et pour saisir les agrafes des cylindres de part et d'autre de son axe ; la *fig.* 3, *pl.* 19, montre un autre système de construction également très-solide.—Lorsque le bâti est extérieur ou mixte, on a recours à d'autres dispositions dont on trouve des exemples dans les *fig.* 3 *et* 4, *pl.* 18 ; *fig.* 5 *et* 6, *pl.* 19 ; *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 20.

Lorsque les cylindres sont intérieurs, ils s'appuient l'un sur l'autre et peuvent être, en outre, consolidés par des appendices de la boîte à fumée ; lorsqu'ils sont extérieurs, on les réunit à la partie inférieure par deux fortes entretoises qui ont pour objet de maintenir l'écartement, et de détruire l'effet du porte-à-faux sur les attaches. Dans ce dernier cas il convient, comme l'ont fait quelques constructeurs, de compléter cet assemblage en embrassant les deux cylindres par la plaque d'avant de la boîte à fumée que l'on fait en forte tôle.

Les pompes à plongeur, mues par la coquille du piston, et dans quelques cas, les pompes commandées par l'excentrique de la marche en arrière, les supports des glissières, les paliers des arbres de relevage, s'attachent également sur le châssis au moyen de boulons ; nous pensons qu'il suffit de renvoyer aux figures qui accompagnent la description de ces pièces, sans entrer dans des détails plus circonstanciés.

3° Accessoires du chassis. — Le *chasse-pierres* est une barre de fer de forte section, disposée à l'avant de la machine et descendant à quelques centimètres au-dessus du rail ; elle sert à écarter les obstacles que la négligence des garde-lignes aurait laissé déposer sur les voies ou que la malveillance y aurait placés, comme une pierre, une pièce de bois, etc.—Les chasse-pierres sont attachés à la traverse d'avant, ou sur les parois de la boîte à fumée lorsqu'elle descend au-dessous des cylindres, quelquefois sur les longerons intérieurs. — Pour les consolider, on les soutient à l'arrière par une barre de fer qui vient s'appuyer sur le châssis ou sur les plaques de garde des roues d'avant (*fig.* 1, *pl.* 35, 36 *et* 38). — Quelquefois on les place en arrière de la traverse et on les

relie à celle-ci par un *tirant* qui remplace l'*arc-boutant*. Cette disposition est plus solide, mais elle n'est pas toujours applicable. —Les chasse-pierres doivent rester à environ 0m 05 au-dessus des rails, car il ne faut pas que, dans le jeu des ressorts occasionnés par les inégalités de la voie, ils puissent venir butter contre les rails.—Souvent on réunit les deux chasse-pierres entre eux par une forte entretoise pour les empêcher de céder latéralement lorsqu'ils rencontrent un obstacle.

Les *marche-pieds* servent à monter sur la plate-forme ; ils sont fixés à l'extrémité de la traverse d'arrière lorsqu'elle est en bois, ou sur le longeron ; ils comprennent deux marches dont la première ne doit pas être à plus de 0m 50 au-dessus du sol ; cette marche doit être en tôle striée ou piquée, et porter un talon pour que le pied ne glisse pas. — La seconde marche doit être disposée comme la première (*fig.* 1, *pl.* 58 ; *fig.* 1, *pl.* 70). Quelques constructeurs se sont dispensés, à tort, de mettre des marche-pieds aux machines, se contentant de ceux qui sont adaptés au tender ; il arrive cependant assez fréquemment qu'il est nécessaire de monter sur la machine, quand elle est séparée de son tender ; il arrive même quelquefois qu'une machine ainsi séparée se met en marche, lorsque le régulateur fuit ; il est donc nécessaire que l'on puisse monter facilement sur la plate-forme pour l'arrêter et prévenir de très-graves accidents.

La *plate-forme* règne sur l'arrière de la machine, sur environ 1m de longueur et sur une largeur de 2m ; lorsque le châssis est droit, elle règne tout autour de la chaudière, afin que le mécanicien ou le chauffeur puisse circuler facilement pendant la marche pour surveiller, graisser le mécanisme, etc. La *plate-forme* proprement dite repose sur les longerons et sur la traverse d'arrière ; l'appendice qui entoure la chaudière porte sur les longerons intérieurs et extérieurs, lorsque le châssis est mixte, ou sur des équerres fixées aux longerons lorsqu'ils sont intérieurs ; on lui donne de la roideur par une cornière longitudinale fixée sur son bord, d'une traverse à l'autre.—La tôle de la plate-forme a environ 0m 004 d'épaisseur.

Le *garde-corps* est nécessaire pour la sécurité du mécanicien et

des personnes qui montent sur la machine ; il entoure la plate-forme et ses appendices latéraux jusque vers la naissance du corps cylindrique.—Il se compose d'une balustrade formée de montants boulonnés sur la plate-forme, et d'une main courante placée à hauteur d'appui ; on garnit généralement cette balustrade de feuilles de tôles pour préserver le mécanicien de l'action du vent ; ces tôles sont assujetties par des cornières sur la plate-forme et sur la rampe.

La machine est réunie au tender par une *barre d'attelage* et par un *boulon d'attelage*. La barre d'attelage est une simple barre de fer terminée par deux trous ronds dans lesquels passent les boulons d'attelage de la machine et du tender, ou une vis à filets inverses dont chaque moitié s'engage dans un écrou armé d'un étrier qui est fixé à la machine d'un côté, de l'autre au tender ; dans ce dernier cas et quelquefois aussi dans le premier, la barre d'attelage est appliquée sur la chappe d'un ressort attaché sous la plate-forme de la machine ou sous le tablier du tender ; l'un des boulons d'attelage est remplacé par un simple crochet, lorsque l'attelage se fait au moyen d'une vis. Lorsqu'il y a un *ressort de traction* placé sous la plate - forme de la machine, il s'appuie par ses extrémités sur deux fortes équerres rivées ou boulonnées sur les longerons intérieurs et sur la traverse (*fig.* 3, *pl.* 34), ou sur deux faux longerons fixés sur la plate-forme et sur un tablier inférieur. Lorsque l'extrémité de la barre d'attelage qui correspond à la machine est simplement fixée par un boulon, sans l'intermédiaire d'un ressort, ce boulon passe dans deux douilles en fer aciéré et trempé, fixées sur deux fortes plaques de tôle rivées sur la chaudière et sur les pattes auxquelles s'attachent les longerons ; la tôle inférieure se recourbe vers les bas pour faciliter l'entrée de la barre d'attelage, puis elle est reliée à la tôle supérieure par deux autres tôles verticales qui consolident l'assemblage et servent également à guider la barre d'attelage (*fig.* 1, *pl.* 5 *et* 6). Cette disposition a l'inconvénient de fatiguer les rivets fixés sur la chaudière et d'occasionner des fuites ; on a cherché à y remédier en attachant seulement aux longerons du châssis les deux tôles sur lesquelles s'exerce

l'effort de traction et qui sont indépendants de la plate-forme (*fig.* 1, *pl.* 6). Le boulon d'attelage est en fer aciéré et trempé de 0m 05 à 0m 06 de diamètre; il porte une embase qui le fait reposer sur la douille supérieure, et un anneau qui sert à l'enlever et à le mettre en place avec facilité. Les deux extrémités de la barre d'attelage sont également en fer aciéré et trempé. Nous reviendrons du reste sur la question de l'attelage en parlant du tender.

§ 2. — Suspension.

Le système de suspension de la machine sur les roues comprend les *boîtes à graisse* qui reposent sur les *fusées* ou *tourillons* des essieux, les *plaques de garde* qui servent d'intermédiaire entre les boites à graisse et le châssis, et dont nous avons eu déjà l'occasion de dire quelques mots, enfin les *ressorts* qui rendent la suspension élastique.

1° Plaques de garde. — On donne ce nom à des appendices en tôle dépendant des longerons venus de forge avec eux ou découpés dans la même feuille de tôle, plus généralement rapportés au moyen de rivets ou de boulons. Dans le premier cas les plaques de garde sont doubles ou simples suivant que le longeron est lui-même double ou simple (*fig.* 2 *et* 3, *pl.* 34; *fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 36; *fig.* 2, *pl.* 37); dans le second cas elles sont doubles, sauf quelquefois, pour la roue d'arrière, lorsqu'elle n'a qu'une charge insignifiante à supporter. L'épaisseur des plaques rapportées varie de 0m 010 à 0m 015. Les plaques de garde ont pour objet de guider le châssis sur les boites à graisse lorsqu'il oscille de haut en bas par suite de la flexion des ressorts; elles établissent la liaison des essieux et des roues avec la machine entière. Celles des roues motrices entraînent le châssis et sont l'intermédiaire qui transforme le mouvement de rotation de l'essieu en mouvement de translation pour la machine entière; celles des roues de support servent au contraire à les entraîner

dans le mouvement de translation général ; elles maintiennent en outre le parallélisme des essieux. Il est donc nécessaire qu'elles soient très-solides et très-solidement attachées. Toutes les fois que la forme des châssis et les dispositions d'ensemble de la machine obligent à donner à ces appendices une assez grande longueur, on les consolide par des entretoises longitudinales ; on les consolide également par des entretoises transversales, lorsqu'elles sont à l'intérieur des roues (*fig.* 1, 2, 3 *et* 4, *pl.* 35 ; *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 36 ; *fig.* 1, *pl.* 37 *et* 38) ; quelquefois même on rattache celles des roues extrêmes au châssis au moyen de tirants obliques. Les deux branches d'une même plaque de garde sont toujours reliées entre elles par une entretoise, qui sert d'appui à l'entretoise transversale, et qui est commune aux deux plaques accolées, lorsque le longeron est formé d'une seule pièce de fer.

2° Boites a graisse. — Les boites à graisse affectent la forme d'un anneau qui enveloppe la fusée de l'essieu lorsque le châssis est intérieur, et celle d'une boîte fermée sur cinq de ses faces, lorsque le châssis est extérieur et que la fusée forme l'extrémité de l'essieu ; elles servent à transmettre le poids de la machine aux essieux et aux roues qui les supportent ; elles servent, comme intermédiaires entre l'essieu et les plaques de garde, à transformer le mouvement de roulement de l'un en mouvement de translation de l'autre, et *vice versâ*. Elles portent un réservoir qui sert de réceptacle à l'huile ou à la graisse qui doit lubréfier la fusée de l'essieu pendant le mouvement.

Une boite à graisse se compose : de la *boîte* proprement dite, du *dessous de boîte* et du *coussinet* ; nous y rattacherons les *guides*, sortes de glissières qui sont interposées entre la boite à graisse et la plaque de garde.

La boite proprement dite est ordinairement en fonte ; elle porte à la partie supérieure une cavité qui reçoit l'huile employée pour le graissage des essieux de machine ; cette cavité communique par deux *lumières* de 0m004 à 0m 005 de diamètre, avec des trous semblables percés dans le coussinet, et donne accès à la matière

lubréfiante sur la fusée de l'essieu ; l'orifice de ces trous est plus élevé que le fond du réservoir, et l'on y introduit des mèches de coton qui forment siphons. Lorsqu'on emploie habituellement de la *graisse* au lieu d'huile, on fait aboutir les lumières au fond du réservoir. Ce réservoir est fermé à sa partie supérieure par un *couvercle* en tôle à charnière ou à coulisse qui empêche le sable et la poussière d'y pénétrer pendant la marche. Lorsque la boite est en fonte, le coussinet est rapporté; quelquefois la boite est en bronze et forme elle-même coussinet. On ménage à la partie supérieure de la boite un mamelon autour duquel le réservoir à graisse forme une rigole, ou une épaisseur longitudinale qui partage le réservoir en deux parties indépendantes l'une de l'autre, pour faire reposer la tige du ressort de suspension, qui est tantôt cylindrique, tantôt formée de deux barres plates réunies par un talon commun. Lorsque la boite porte sur une fusée extérieure, elle est fermée à la partie antérieure par une cloison venue à la fonte avec le reste et présentant une cavité dans laquelle peut tourner librement le renflement que la fusée porte à son extrémité. Les *fig.* 1 *et* 2, 3, 4 *et* 5, 9, 10 *et* 11, 12 *et* 13, *pl.* 40 ; *fig.* 3 *et* 4, 5 *et* 6, 9 *et* 10, *pl.* 41 ; *fig.* 1, 2, 3 *et* 4, *pl.* 42, représentent les différentes formes de boîtes à graisse les plus généralement employées ; la boite proprement dite se confond avec le coussinet, lorsqu'elle est en bronze, mais il y a toujours un dessous de boite distinct.

Le dessous de boite est en bronze lorsque la boite est elle-même en bronze ; mais dans tous les autres cas il est en fonte ; tantôt il affecte la forme du coussinet et enveloppe la demi-circonférence inférieure de la fusée sans la toucher, tantôt il affecte la forme d'une cuvette; lorsque la cuvette est assez profonde, on y place une éponge destinée à recevoir les gouttes d'huile qui s'échappent entre le coussinet et la fusée, et qui sert à lubréfier la fusée lorsque le réservoir vient à se vider en route. Le dessous de boite est attaché à la boite par un ou deux goujons qui sont retenus à leurs extrémités par les guides des plaques de garde; quelquefois on a brisé le goujon au milieu en réunissant les deux parties, au moyen d'un boulon, dans une chape placée sous le milieu du des-

sous de boite (*fig.* 9 *et* 10, *pl.* 40), pour permettre de le démonter sans lever la machine et sans sortir la boite à graisse de ses guides.

Le *coussinet* est toujours en bronze, on y ajoute seulement quelquefois une petite proportion de zinc; on a renoncé aux divers alliages qui ont été essayés dans un but d'économie; les compositions que l'expérience a consacrées oscillent autour des proportions de 82 de cuivre et 18 d'étain.

Lorsque ce n'est pas la boîte elle-même qui forme le coussinet, celui-ci est exactement ajusté sur la boîte en fonte; il est percé de lumières correspondant à celles du réservoir à huile, et des sillons ou *pattes d'araignée* sont tracés sur la surface pour bien répartir la matière lubréfiante.

Le coussinet ne dépasse jamais par ses bords inférieurs le niveau de l'axe de l'essieu, et lorsqu'il atteint cette limite, il doit présenter un peu *d'entrée*, car, lorsque la fusée s'échauffe et se dilate, elle pourrait se trouver pincée entre les deux bords du coussinet; elle s'échaufferait et gripperait au lieu de rester tiède, ce qui n'a au reste que peu d'inconvénients. Le coussinet est fixé sur la boîte au moyen de collets ou joues qui l'emboîtent de chaque côté, ou bien au moyen d'un téton pénètrant dans le mamelon qui supporte la tige du ressort; il est du reste taillé extérieurement en forme de prisme à base octogonale ou à base carrée, ce qui l'empêche de se déverser et de tourner dans la boîte; la forme rectangulaire donne plus de force aux parties latérales et les empêche de *pincer* lorsque l'ajustage est mal fait, mais elle est un peu plus coûteuse à raison de la quantité de métal employé; la forme octogonale laisse en outre peu de surface pour l'application de la charge à transmettre à l'essieu, et le métal peut s'écraser s'il est trop ductile. Les coussinets portent par la tranche, sur chacun des collets qui terminent la fusée; pour les empêcher de s'échauffer et de gripper, on donne à la surface de contact un rayon un peu plus petit que celui du congé qui raccorde le collet avec la fusée, de telle sorte que le coussinet prenant exactement la fusée, il y ait un peu de jeu entre ses extrémités et les collets entre lesquels il

pourrait se trouver pincé par l'effet de la dilatation ; quelques constructeurs regardent cette disposition comme vicieuse parce qu'elle tend à faire monter le coussinet sur les collets de la fusée ; ils aiment mieux donner aux deux surfaces la même courbure, en donnant au coussinet 0m 001 de jeu. Il convient dans tous les cas que les collets de la fusée et le coussinet aient une large surface plane de contact sur 0m 020 de hauteur au moins.

La seule différence qui existe entre les boites à graisse des roues motrices et celles des roues de support, consiste dans les dimensions : épaisseur des coussinets et de la boite, diamètre et longueur des coussinets. Lorsque le châssis est intérieur, la visite et le remplissage des boites à graisse sont toujours fort difficiles ; c'est un des motifs qui militent en faveur des châssis extérieurs ; ces opérations ne sont commodes que dans la machine Crampton où les boites à graisse de l'essieu moteur sont placés sous la plate-forme et sous la main du mécanicien.

Quelques constructeurs ajustent la boite à graisse dans la surface latérale des guides, de manière à ne laisser en contact dans la hauteur que 0m 05 au-dessus et autant au-dessous de l'axe de l'essieu. Le reste de la surface dans la hauteur de la boite à graisse est arrondi suivant un arc dont le rayon est de 1m 50. Cette disposition a pour but de permettre aux boites à graisse de suivre les inégalités de la voie sans gripper dans les guides.

Les *guides* des boites à graisse (*fig.* 1, 2, 3 *et* 4, *pl.* 42) sont fixés aux plaques de garde, au moyen de rivets ou de boulons, et ajustés sur les faces latérales des boites à graisse ; ils doivent être appliqués exactement contre la boite à graisse, pour qu'il n'y ait pas de jeu latéral, et parfaitement dressés sur la surface de contact pour que le châssis puisse osciller librement dans le sens vertical. Ils portent une saillie qui est prise exactement entre les deux plaques de garde au moyen de boulons, ou qui est rivée sur la plaque de garde lorsqu'elle est simple. Les guides, et particulièrement ceux des roues motrices, qui ont une grande fatigue à supporter, doivent avoir avec la boite à graisse une surface de contact aussi large que possible, sans que les saillies latérales que

celle-ci porte cessent de présenter une résistance suffisante au déplacement latéral. Ces saillies doivent avoir chacune environ 0m 025 d'épaisseur; il convient de plus de leur donner une assez grande saillie sur la boite en donnant à cette saillie sa dimension maxima vers le point qui correspond à l'axe de l'essieu afin d'en faire une nervure de consolidation. Quelquefois ce sont les guides eux-mêmes qui portent des saillies et qui embrassent la boite à graisse, *fig.* 12, 13 *et* 14, *pl.* 40; d'autres fois les plaques de garde, lorsqu'elles sont doubles, embrassent la boite à graisse et tiennent lieu de ces saillies. Les guides des boites à graisse de roues motrices doivent être en fer afin qu'ils puissent résister aux efforts qu'ils ont à supporter et aux chocs qui se produisent dès qu'il y a un peu de jeu latéral ; cependant quelques constructeurs, en leur donnant une épaisseur suffisante, ne craignent pas de les faire en fonte. Ceux des roues de support sont toujours en fonte. Les guides des roues de support des machines Crampton (*fig.* 7 *et* 8, *pl.* 41) affectent la forme d'équerres boulonnées sur la plaque de garde.

Pour éviter le claquement des boites de roues motrices dans leurs guides, les ruptures qui en sont ordinairement la conséquence et les réparations fréquentes toujours plus ou moins coûteuses, on commence à faire usage de *clefs de serrage* ou coins intercalés entre l'une des faces de la boite à graisse et le guide correspondant (*fig.* 3, 4 *et* 5, *pl.* 40); la clef de serrage porte une vis de rappel qui prend son point d'appui sur une pièce fixée, comme les guides, sur les plaques de garde; deux écrous, retenus par deux petites lames de tôle qui embrassent leur tête, servent à régler le serrage. Dans la disposition représentée par les *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 41, la clef de serrage est soudée avec une tige carrée qui glisse dans une rainure tracée sur la surface du guide et qui assure la solidarité des deux pièces dans le sens latéral; cette tige est filetée à sa partie supérieure et prend son point d'appui sur une traverse embrasé e par deux écrous ; la clef de serrage est en outre assujettie au moyen de deux boulons horizontaux, qui passent à travers deux rainures verticales percées dans le guide, et qui les maintiennent

contre celui-ci. Cette dernière disposition parait un peu compliquée et moins avantageuse que la première, elle n'est pas du reste d'une application aussi générale.

Lorsque l'essieu moteur reçoit quatre boites à graisse, qui supportent chacune une partie de la charge, soit même lorsque les deux boites intérieures sont destinées seulement à servir de guides à l'essieu moteur, il est nécessaire de mettre deux clefs de serrage à chacune des deux boites intermédiaires, afin de faire coïncider exactement les axes des quatre boites avec celui de l'essieu. On n'en met qu'une aux boites à graisse extrêmes pour que le mécanicien ne puisse jamais dérégler sa machine. Les clefs de serrage doivent être toujours disposées la tête en bas pour qu'elles ne viennent pas caler la roue dans le cas où la vis de rappel se desserrerait.

Les *fig.* 6,7 *et* 8, *pl.* 40 présentent un exemple de cette disposition; nous ferons remarquer du reste qu'elle indique aussi un système tout particulier de coussinets appliqués aux boites à graisse intermédiaires de l'essieu coudé (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 26); ainsi qu'on peut le voir, les supports des clefs de serrage sont assujettis sur les guides mêmes.

3° Ressorts. — Un ressort se compose des bandes ou feuilles d'acier, de la *bride* qui embrasse les *feuilles* et qui les maintient réunies, de la *tige* qui lui sert de support sur la boite à graisse, et des *boulons de suspension*.

La forme théorique du *ressort* est celle d'un solide d'égale résistance encastré par ses deux extrémités; c'est en effet celle dont on cherche à se rapprocher dans la pratique, seulement on exagère ses dimensions aux extrémités, principalement dans le cas où les feuilles sont traversées par les *boulons de suspension*, pour lu donner plus de solidité aux points où s'attachent les brides et boulons de suspension (*fig.* 5, 9, 11 *et* 13, *pl.* 42). Les *feuilles* ou *lames* doivent être en acier de cémentation corroyé, de première qualité; on commence à employer l'acier fondu, qui donne des ressorts moins sujets à se rompre. Le nombre des lames est ordinairement de quatorze ou quinze; le plus souvent on met une ou deux

maîtresses-lames, et toutes les autres feuilles ont une épaisseur uniforme; d'autres fois on fait décroître leur épaisseur au fur et à mesure qu'elles se rapprochent du sommet et que leur longueur diminue; l'épaisseur des lames supérieures ne doit pas en général excéder $0^m,012$. La *force* des ressorts, ou la charge qu'ils peuvent supporter pour arriver à une flexion donnée, doit varier avec la charge que les essieux ont à supporter. Leur *élasticité* ou la quantité dont ils fléchissent pour une augmentation déterminée de charge, ou par l'effet d'un choc déterminé, doit être suffisante, pour que les inégalités de la voie ne manifestent pas leur action par des chocs durs, nuisibles à la conservation du mécanisme et des assemblages; mais elle ne doit pas dépasser une limite assez restreinte, car des oscillations d'une trop grande amplitude pourraient faire fausser certaines pièces, notamment les bielles motrices; et les barres et les colliers d'excentriques, qui dépendent, par une extrémité, de l'essieu qui suit le profil des rails, et par l'autre, du châssis qui oscille sous l'action des ressorts. Les ressorts doivent être combinés, en raison de la charge qu'ils doivent porter, de leur longueur, de la nature de l'acier employé et de l'épaisseur adoptée pour les feuilles, de telle sorte que l'*amplitude* totale des oscillations des ressorts sous charge ne dépasse pas habituellement $0^m,02$ à $0^m,03$ et n'atteigne pas la limite de $0^m,05$. Les éléments que le constructeur peut faire varier pour arriver à ce résultat, sont le nombre et l'épaisseur des feuilles, et leur courbure ou la flèche de fabrication. La forme la plus convenable pour donner au ressort toute la *sensibilité* dont il est susceptible, c'est-à-dire la plus grande aptitude à entrer en jeu dès qu'un choc est transmis aux roues, est la forme horizontale, car le mouvement relatif des feuilles est nul au point de départ de l'oscillation, et c'est le frottement surtout qui tend à rendre les ressorts insensibles; cette disposition a été adoptée avec succès par M. Cavé, dans ses dernières constructions; quoique l'intérêt de cette question soit assez restreint, elle mérite d'appeler l'attention des constructeurs.

Nous avons réuni, dans un même tableau, les dimensions adoptées par divers constructeurs pour la construction de leurs ressorts :

DIMENSIONS DES RESSORTS DE SUSPENSION

EMPLOYÉS SUR QUELQUES MACHINES LOCOMOTIVES.

Dimensions des Ressorts de suspension em

DÉSIGNATION DES MACHINES.	INDICATION du CHEMIN.	NOM du CONSTRUCTEUR.	INDICATION de L'ESSIEU.	CHARGE sur le RESSORT.	LONGUEUR.
				k.	m.
Machines à voyageurs.....	Nord.......	Derosne et Cail	Avant......	2,963	0,960
			Milieu......	2,393	0,960
			Arrière.....	3,015	0,950
Machines à marchandises..	Idem.....	Idem.....	Avant.......	3,190	0,950
			Milieu......	2,556	0,950
			Arrière.....	2,530	0,950
Machines mixtes...........	Idem.....	Ateliers de la Compagnie	Avant......	3,465	0,950
			Milieu......	3,745	0,950
			Arrière.....	1,505	0,950
Machines Crampton........	Idem.....	Derosne et Cail	Avant......	4,676	0,966
			Milieu......	1,775	0,966
			Arrière.....	3,957	0,966
Machines à voyageurs......	Lyon.......	Idem.....	Avant......	3,780	0,950
			Milieu......	3,670	0,950
			Arrière.....	2,280	0,976
Machines à marchandises..	Idem.....	Idem.....	Avant......	3,190	0,860
			Milieu......	3,045	0,860
			Arrière.....	3,000	0,800
Machines à marchandises..	Orléans....	C. Polonceau.	Avant......	2,858	0,950
			Milieu.....	3,000	0,925
			Transversal.	1,500	0,550
			Arrière.....	3,100	0,925
			Traction....	»	0,860
Machines mixtes...........	Ouest......	Cavé.........	Avant......	2,447	1,010
			Milieu......	2,838	1,010
			Arrière.....	2,944	1,010
Machines mixtes...........	Idem.....	E. Gouin.....	Avant.......	2,447	0,950
			Milieu......	2,838	0,950
			Arrière.....	2,944	0,950
Machines à voyageurs.....	Lyon.......	Derosne et Cail	Traction....	»	1,710
	Strasbourg.	Idem.....	Traction....	»	1,600

ployés sur quelques machines locomotives.

LARGEUR.	HAUTEUR.	FLÈCHE de fabrication.	FLÈCHE sous charge.	NOMBRE total de feuilles.	NOMBRE DE FEUILLES AYANT POUR ÉPAISSEUR EN MILLIM. 12	11	10	9	8	7	6	NATURE de L'ACIER.
m. 0,090	m. 0,142	m. 0,120	m. 0,089	17	»	»	»	6	11	»	»	Ordinaire cementé.
0,090	0,158	0,120	0,082	19	»	»	»	6	13	»	»	Id.
0,090	0,174	0,120	0,081	21	»	»	»	6	15	»	»	Id.
0,090	0,158	0,120	0,074	19	»	»	3	»	16	»	»	Id.
0,090	0,140	0,120	0,076	17	»	»	2	»	15	»	»	Id.
0,090	0,158	0,120	0,080	19	»	»	3	»	16	»	»	Id.
0,090	0,174	0,120	0,083	21	»	»	3	»	18	»	»	Id.
0,090	0,158	0,120	0,054	19	»	»	3	»	16	»	»	Id.
0,090	0,140	0,120	0,080	17	»	»	2	»	15	»	»	Id.
0,100	0,130	0,160	0,072	18	»	»	2	6	6	4	»	Id.
0,100	0,119	0,160	0,115	14	»	»	2	3	5	2	»	Id.
0,100	0,130	0,160	0,072	18	»	»	2	6	6	4	»	Id.
0,090	0,179	0,120	0,070	22	»	»	2	6	7	7	»	Id.
0,090	0,179	0,120	0,070	22	»	»	2	6	7	7	»	Id.
0,090	0,170	0,120	0,070	23	1	»	1	7	7	7	»	Id.
0,090	0,120	0,080	0,045	10	10	»	»	»	»	»	»	Fondu.
0,090	0,120	0,080	0,045	10	10	»	»	»	»	»	»	Id.
0,090	0,120	0,080	0,045	10	10	»	»	»	»	»	»	Id.
0,090	0,144	0,093	0,076	12	12	»	»	»	»	»	»	Id.
0,090	0,108	0,128	0,0825	9	9	»	»	»	»	»	»	Id.
0,075	0,064	0,047	0,015	6	»	»	»	6	»	»	»	Id.
0,090	0,120	0,128	0,082	10	10	»	»	»	»	»	»	Id.
»	0,080	0,090	»	8	»	»	8	»	»	»	»	Id.
0,090	0,180	0,100	0,029	18	»	»	18	»	»	»	»	Ordinaire cémenté.
0,090	0,190	0,100	0,025	19	»	»	19	»	»	»	»	Id.
0,090	0,190	0,100	0,025	19	»	»	19	»	»	»	»	Id.
0,090	0,174	0,120	0,083	21	»	»	3	»	18	»	»	Id.
0,090	0,158	0,120	0,054	19	»	»	3	»	16	»	»	Id.
0,090	0,140	0,120	0,080	17	»	»	2	»	15	»	»	Id.
0,090	0,179	0,330	»	22	»	»	2	6	7	7	»	Id.
0,090	0,155	0,300	»	19	»	»	2	5	6	6	»	Id.

La *bride* du ressort, ou la chape, est un cadre en fer forgé de 0^m,010 à 0^m,015 d'épaisseur sur 0^m,07 à 0^m,09 de largeur, qui saisit le ressort à son milieu, et maintient l'assemblage des feuilles d'acier, indépendamment du boulon qui les traverse; elle est posée à chaud. Le ressort se place quelquefois au-dessous de la boîte à graisse, à laquelle il s'attache au moyen d'un boulon; sa bride porte alors un ou deux appendices percés d'un trou en forme d'anneau, pour recevoir ce boulon (*fig.* 11 *et* 12, *pl.* 42). Le plus souvent le ressort est au-dessus de la boîte à graisse, et au-dessus du châssis; lorsque le châssis est extérieur formé d'un longeron en bois garni de deux feuilles de tôle, la bride du ressort repose sur une tige cylindrique indépendante, qui traverse le longeron et va s'appuyer sur la boîte à graisse (*fig.* 9, *pl.* 42); la tige se réduit à un simple téton, très-peu saillant, lorsque le ressort est intercalé entre le longeron et la boîte à graisse. Lorsque le châssis est intérieur et que le longeron ne présente qu'une seule épaisseur de fer, la tige est formée de deux barres de fer parallèles qui embrassent le longeron et qui viennent s'appuyer par leur extrémité supérieure sur la bride du ressort (*fig.* 6, *pl.* 42); ces deux tiges, maintenues sur les faces latérales du longeron par des guides en fer, se terminent par un talon commun qui repose dans une cavité ménagée à cet effet sur la boîte à graisse (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 42). Lorsque le châssis e t intérieur, on ne peut ménager à la fusée et au coussinet une longueur convenable qu'en leur donnant plus de saillie à l'intérieur qu'à l'extérieur du longeron; la tige du ressort s'appuie donc dans ce cas sur l'une des moitiés de la boîte à graisse plus que sur l'autre; c'est pour remédier à cet inconvénient que certains constructeurs ont donné au talon de la tige une saillie sur l'un de ses côtés, du côté intérieur, comme l'indique la *fig.* 6, *pl.* 42; mais cette addition n'a aucune utilité, car elle ne peut pas faire que la pression de la tige s'applique ailleurs qu'aux points sur lesquels les deux branches s'appuient; il faudrait dévier l'extrémité de la tige et emprunter aux guides fixés sur le longeron une grande résistance latérale pour reporter la charge sur le milieu de la boite à graisse.

Les *fig.* 13 *et* 14, *pl.* 42, représentent une disposition qui

pourra, dans beaucoup de cas, être appliquée avantageusement : les deux roues d'arrière ont un ressort commun qui appuie ses deux extrémités sur les boites à graisse par l'intermédiaire d'une barre en fer qui relie les deux boites, et dont la bride reçoit le poids du châssis au moyen d'un boulon fixé sur deux flasques en tôles rivées sur les longerons, et d'un étrier qui embrasse le ressort pour lui donner un point fixe d'oscillation à l'endroit où il s'assemble avec la bride ; de telle sorte que la machine peut éprouver des oscillations latérales, ou l'essieu s'incliner tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, sans que le ressort cesse de supporter toute la portion de la charge qui lui est afférente. Cette disposition a seulement pour inconvénient de diminuer la capacité du réservoir à huile et de le rendre moins facilement accessible.

La forme la plus simple des *boulons de suspension* est celle que représente la *fig.* 8, *pl.* 42. Les extrémités du ressort sont percées de trous dans lesquels passent librement les extrémités filetées des boulons, qui reçoivent un double écrou, au moyen duquel on peut régler la charge ; l'extrémité inférieure des boulons porte un étrier qui embrasse le châssis et qui est réuni avec lui par un boulon transversal. Cette disposition a l'inconvénient d'affaiblir les lames supérieures du ressort, de nécessiter par suite l'emploi de plusieurs *maîtresses-feuilles*, et de faire modifier la forme rationnelle du ressort ; cet inconvénient est, du reste assez faible et est la conséquence de la disposition même du châssis, qui est telle, que le ressort trouve à peine sa place contre les flancs de la boite à feu et de la partie cylindrique, ce qui ne permet pas l'emploi de pièces formant saillie sur sa propre largeur. Il faut qu'il y ait beaucoup de dégagement dans le trou du boulon pour que les feuilles ne viennent pas butter et se briser contre lui ; il faut en outre que l'écrou qui repose sur les feuilles ait une forme arrondie au contact, pour faciliter tous les mouvements de l'assemblage.

La forme d'attaches figurée (*pl.* 42, *fig.* 9 *et* 10) est préférable, mais elle ne peut être appliquée que sur les châssis extérieurs. Une ou deux des feuilles supérieures sont enroulées à leurs extrémités et reçoivent un boulon qui passe dans les deux branches d'un étrier ;

cette pièce est reliée par un boulon à deux filets inverses, avec un étrier semblable, fixé au longeron du châssis par un deuxième boulon. Ce boulon à double filet permet de régler à volonté la charge du ressort. Les *fig.* 11 *et* 12, *pl.* 42, indiquent la disposition qui a été adoptée pour fixer les ressorts d'avant des machines Crampton; deux forts boulons passés dans deux manchons, venus de fonte sur la boîte à graisse (*fig.* 6, *pl.* 41), supportent une traverse à laquelle est attachée la bride du ressort; celui-ci reçoit la charge du châssis, au moyen de deux boulons à étriers, fixés sur un support attaché aux plaques de garde, comme le représente la *fig.* 3, *pl.* 37; la feuille supérieure du ressort est remplacée par une maîtresse-lame en fer forgé, assez épaisse à ses extrémités pour que la poussée des boulons d'attache ne puisse pas la refouler sur elle-même et la faire casser. Ces dispositions varient du reste avec les exigences de chaque mode de construction et le groupement des pièces.

§ 3. — Roues et Essieux.

Nous avons examiné les roues motrices comme organes de la transmission de mouvement; il nous reste à décrire les *roues* et les *essieux* en général, considérés comme supports et comme organes du véhicule.

1° Essieux. — On distingue dans un essieu trois parties principales : le *corps de l'essieu,* les *portées de calage* et les *fusées* ou tourillons qui reçoivent, par l'intermédiaire des boîtes à graisse et des ressorts, la charge de la machine.

La fabrication des essieux exige le plus grand soin; ils doivent être en fer de première qualité, parfaitement soudé et corroyé, exempt de pailles, criques ou autres défauts, surtout dans les parties frottantes. On doit s'appliquer à donner aux essieux, à la forge et sous l'action du marteau, une forme qui se rapproche aussi exactement que possible de la forme définitive, pour ne pas enlever au tour l'*écorce,* qui donne les meilleures surfaces de frottement. Les perfectionnements, et surtout les soins apportés à la fabrication

des essieux et au choix des matières premières, ont concouru, avec l'accroissement de leur diamètre, à augmenter dans une très-large proportion la sécurité de la circulation sur les chemins de fer; les accidents occasionnés par des ruptures d'essieux sont devenus extrêmement rares et ne peuvent plus être cités que par exception. Les essieux coudés, en particulier, doivent avoir de très-fortes dimensions, car ils sont plus que d'autres, à raison même de la fatigue qu'ils éprouvent, exposés à se briser; on atténue singulièrement les chances de rupture et surtout celles d'accidents, en répartissant sur quatre ressorts, ou plus exactement sur quatre boites à graisse, car les deux boîtes intérieures peuvent être chargées par un ressort unique placé en travers, le poids que l'essieu doit supporter; l'essieu fatigue beaucoup moins, et en cas de rupture chaque roue peut rester en place, comme une roue de brouette, si les deux ressorts qui la commandent se partagent convenablement la charge. Une disposition analogue pourrait être essayée avec succès pour les roues d'avant des machines à quatre roues, ou des machines à six roues qui ont l'avant très-chargé, surtout si ces machines sont destinées à marcher à de très-grandes vitesses. Nous indiquerons, au livre IV, les dimensions adoptées le plus généralement pour le diamètre des essieux.

La *portée de calage* est la partie de l'essieu qui s'engage dans le moyeu de la roue; elle est exactement tournée comme le trou qui doit la recevoir, et dans lequel elle entre à frottement dur. Le plus souvent on emmanche les roues de machines sur leurs essieux, au moyen de la presse hydraulique; on consolide l'assemblage par une ou plusieurs clavettes en acier ou en fer trempé, légèrement coniques, qui sont chassées de force dans une rainure tracée sur la partie de l'essieu, et dans une autre rainure tracée en regard sur le moyeu. L'essieu porte, au point de raccordement de la portée de calage, un épaulement destiné à empêcher la roue de se déplacer vers l'intérieur de la voie, si elle venait à se décaler; cet épaulement, s'il n'a pas plus de $0^m,001$ de saillie, n'a pas d'inconvénient; s'il est plus haut, il doit être raccordé avec la portée par un congé aussi prononcé que possible, ou remplacé par un tronc de cône d'une

inclinaison peu prononcée, car dans beaucoup de cas cet épaulement peut devenir une cause de rupture de l'essieu ; quelquefois on supprime l'épaulement et l'on compte uniquement sur la perfection du calage.

Les *fusées* sont *intérieures* lorsque les longerons sont eux-mêmes intérieurs; leur diamètre ne diffère pas sensiblement de celui de la portée et du corps de l'essieu ; elles portent deux épaulements, dont l'un est commun avec celui de la portée de calage, et qui servent à maintenir en place le coussinet et sa boîte à graisse, (*fig.* 3, 5 *et* 7, *pl.* 25). Les fusées sont extérieures lorsque le châssis est extérieur ; elles ont alors un diamètre plus petit que la portée de calage et que le corps de l'essieu; elles se terminent par un collet qui maintient le coussinet et la boîte à graisse (*fig.* 1 *et* 3, *pl.* 43). Le diamètre et la longueur des fusées doivent être proportionnés à la charge que supporte la roue; au delà d'une certaine limite de charge, les surfaces s'échauffent et grippent ; on peut attribuer cette circonstance à ce fait, qu'au delà d'une certaine pression les matières lubréfiantes ne peuvent plus pénétrer ou rester entre les deux surfaces. La charge des fusées par centimètre carré doit être plus faible pour les machines à grande vitesse que pour les machines à petite vitesse, car, toutes choses égales d'ailleurs, les fusées et les coussinets sont plus disposés à s'échauffer; cette charge élémentaire varie pour les premières de 17 à 20 ^{k}, et pour les dernières de 19 à 28 ^{k}, en ne comptant comme contact que le tiers de la surface du coussinet.

2° Roues. — Nous avons examiné les roues motrices, pour ce qui concerne la transmission de la puissance motrice ; au point de vue du mode de construction, nous n'avons pas de distinction à établir entre les roues motrices et les roues de support.

Une *roue* se compose essentiellement d'un *moyeu*, de *rais* ou *rayons*, d'un *bandage* et quelquefois d'un *faux cercle*. Le moyeu forme la partie centrale dans laquelle l'essieu est emmanché, il est généralement en fonte, quelquefois en fer forgé ; les rais vont du moyeu à la jante de la roue, ils sont en fer laminé ou en fer forgé,

mais très-rarement en fonte. La jante de la roue est formée d'autant d'éléments qu'il y a de rais; ces éléments sont discontinus et dépendent des rais lorsque ceux-ci sont en fer laminé, ou continus et soudés entre eux et avec les rais lorsque ceux-ci sont en fer forgé; dans le premier cas, on complète quelquefois la jante en l'enveloppant d'un *faux cercle* en fer, sur lequel s'applique le bandage; le second mode de construction est maintenant préféré. Le bandage s'applique à chaud sur la jante, et est en outre assujetti par des rivets; il porte un *bourrelet* ou *boudin* saillant qui sert de guide à la roue et l'empêche de sortir de la voie. (Voir *fig.* 3 *et* 4, 5 *et* 6, 7 *et* 8, *pl.* 25; *fig.* 1 *et* 2, 5 *et* 6, 7 *et* 8, *pl.* 27; *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 43.)

Les roues avec rais en fonte sont peu employées; elles sont complétement en fonte y compris le bandage, le tout fondu d'une seule pièce, ou bien elles portent un bandage en fer, le reste en fonte d'une seule pièce. Les premières étaient, il y a quelques années encore, employées couramment par les constructeurs américains; les autres sont employées sur quelques chemins à houille et notamment sur le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, pour les transports à petite vitesse.

Les roues en fer laminé ont toujours leur moyeu en fonte; chaque rais se compose de deux barres de fer, ayant une section en forme de T à tige très-courte (*fig.* 3 *et* 4, *pl.* 25), accolées dos à dos et réunies entre elles par des rivets; chaque barre s'infléchit en forme de secteur et forme la moitié des deux rais consécutifs, et la partie intermédiaire de la jante. Pour construire la roue, on plie sur un mandrin les fers à T coupés de longueur, et on les assemble dans une cuve en fonte dont le bord est cylindrique et d'un diamètre égal à celui de la roue; on les ajuste de manière à ce qu'ils soient bien jointifs, et on les porte ensuite à la fonderie où on les assemble de nouveau dans le moule; la fonte enveloppe, sur $0^m,10$ à $0^m,15$ de longueur, les extrémités des rais, que l'on a eu soin de décaper avec soin, et le corps de la roue se trouve ainsi formé; on fixe ensuite, au moyen d'un rivet, les deux éléments de chaque rais, et on donne une passe au tour pour rectifier la jante; on ajuste le bandage à chaud et on achève de le fixer au moyen de quelques

rivets à tête noyée dans le bandage, disposés de place en place; enfin on achève de consolider le tout au moyen de coins en bois et en fer, chassés dans les angles compris entre les éléments de la jante et le bandage.

Les roues ainsi construites sont simples et économiques de fabrication, mais elles présentent peu de solidité; les rais se fendent dans les angles, le serrage du bandage se relâche, et il devient nécessaire de le déplacer pour le caler au moyen d'une fourrure en tôle mince appliquée sur la jante; elles se conservent rarement rondes après plusieurs cerclages, et ne permettent pas d'user les bandages à une faible épaisseur. On remédie en grande partie à ces inconvénients en appliquant un faux cercle sur la jante, en le tournant à l'extérieur et y ajustant le bandage. Cependant, on préfère maintenant les roues à *rais en fer forgé*. Ces roues (*fig.* 5 *et* 6, *pl.* 25; *fig.* 1 *et* 2, 7 *et* 8, *pl.* 26; *fig.* 13 *et* 14, *pl.* 42; *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 43) ont, comme les précédentes, leurs moyeux en fonte; chaque rais est amené à présenter la forme d'un T, dont la tige forme le rais et les bras forment les éléments de la jante; ces bras sont coupés en biseau, à chaque extrémité, par des plans parallèles à l'axe du rais, et lorsque tous les rais sont montés et assemblés par le moyeu en fonte, coulé sur leurs extrémités, on réunit les divers éléments de la jante, en les soudant entre eux au moyen de coins en fer rapportés dans les vides formés par la taille en biseau. La roue, arrivée à cet état, est mise sur le tour et reçoit ensuite le bandage placé à chaud et assujetti par des rivets sur la jante. Ces roues, quoique plus coûteuses que les roues à rais en fer laminé, sont préférées, à cause de leur solidité et de leur grande durée.

On fait, depuis quelque temps, des roues ayant le *moyeu en fer forgé* (*fig.* 7 *et* 8, *pl.* 25; *fig.* 5 *et* 6, *pl.* 26). Après avoir façonné les rais à T, comme à l'ordinaire, on soude à leur extrémité un coin en fer forgé, qui représente la partie correspondante du moyeu; on ajuste parfaitement ces coins l'un contre l'autre, de manière à former, par leur réunion, un moyeu plein; on serre les éléments de la jante au moyen d'un cercle rapporté et de vis de pression, et l'on place le moyeu sur un feu de forge circulaire,

après avoir appliqué des plateaux sur les deux faces ; on porte cette masse au blanc soudant et on la soude au marteau sur l'enclume ; on soude ensuite entre eux les bras des T, pour former la jante. On obtient ainsi un moyeu parfaitement soudé, qui présente un vide correspondant au trou destiné à recevoir l'essieu ; on ajuste ce trou et l'on perce, s'il y a lieu, celui qui doit recevoir le bouton de la manivelle. Ces roues doivent être préférées aux roues à moyeux en fonte et à rais en fer forgé pour les machines à très-grande vitesse, dans lesquelles certaines garanties dans la construction sont utiles, tandis qu'elles sont tout à fait superflues dans d'autres machines ; elles joueront un rôle important lorsque la réaction, qui se manifeste dès à présent contre les lourdes machines, conduira les constructeurs à s'ingénier par tous les moyens possibles, pour réduire le poids des pièces ; mais rien ne motive l'application qu'on en a fait dans quelques cas, par exemple, à des machines à petite vitesse destinées au transport des marchandises, où le poids surabondant des roues n'est pas perdu pour la puissance de la machine, dont il augmente l'adhérence. Dans la plupart des machines actuellement employées, les roues à moyeux en fonte satisfont à tous les besoins. Ces moyeux durent indéfiniment, et il est facile d'en réduire le poids dans une très-forte proportion, en les garnissant de *frettes* en fer, placées à chaud (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 26 ; *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 43).

3° Bandages. — Le *bandage* est la partie de la roue qui frotte sur le rail et qui sert, au moyen du *mentonnet* ou *boudin* saillant dont elle est armée, à empêcher la machine de dérailler, lorsqu'elle se déplace accidentellement sur la voie, ou lorsqu'elle franchit des courbes de petit rayon. Le bandage doit être parfaitement ajusté sur la jante de la roue ; celle-ci est tournée, et le bandage est généralement alésé à l'intérieur ; la pose du bandage se fait à chaud, en donnant 0^m 002 à 0^m 003 de *serrage*. Le serrage varie avec le diamètre de la roue, avec son mode de construction et avec la qualité du fer employé ; lorsque les rais sont en fer forgé ou lorsque les rais sont en fer laminé, et que la jante est formée par

un faux cercle qui a déjà été placé à chaud, il faut moins de serrage que lorsque le bandage repose directement sur des rais en fer laminé, qui, par leur forme même, ont toujours une certaine élasticité ; il faut également donner un peu plus de serrage lorsque le bandage n'a pas été préalablement alésé. Lorsque ces deux circonstances se sont trouvées combinées, on a donné quelquefois jusqu'à 0^m 005 à 0^m 008 de serrage, tandis que, pour des roues de support d'un mètre de diamètre, on s'est contenté de 0^m 001 sur des rais en fer forgé. Des bandages trop serrés cassent en service, et quelquefois, au lieu de se fendre simplement, ils arrachent les rivets et se détachent en se développant entièrement, ou même se brisent en plusieurs fragments, qui se dispersent de côté et d'autre.

Le profil du bandage présente, comme celui du rail, une inclinaison de 1/20ᵉ. Son boudin, raccordé avec la surface de roulement par un congé qui correspond à celui du rail, ou qui est un peu plus ouvert pour éviter les frottements, a une saillie qui varie de 0^m 030 à 0^m 040 (*fig.* 4, 5, 6, 7, 8, 9 *et* 10, *pl.* 43). L'épaisseur au milieu varie de 0^m 040 à 0^m 060 ; une forte épaisseur rend la fabrication et la pose plus difficiles, mais le bandage peut être mis un plus grand nombre de fois sur le tour avant d'être mis au rebut, et il en résulte une grande économie pour l'entretien. On a remarqué que l'usure du bandage avait lieu principalement au milieu de sa largeur, et qu'il restait sur le bord extérieur, au fur et à mesure de l'usure, un bourrelet, qu'il fallait enlever chaque fois que la roue était mise sur le tour ; c'est un surcroît de travail et une perte notable de matière. On a été conduit, par suite, à fabriquer le bandage avec un chanfrein, comme l'indiquent les *fig.* 8, 9 *et* 10, *pl.* 43). On a cherché, en outre, à diminuer la quantité de matière inutile, en évidant l'angle intérieur de toute la quantité qui forme saillie sur la jante (*fig.* 9 *et* 10, *pl.* 43). Enfin, on a souvent ménagé un petit bourrelet intérieur (*fig.* 8), qui empêche le bandage de se décaler, et qui conserve les rivets ou les boulons d'attache lorsque le serrage disparaît par le laminage du métal.

Les bandages sont fixés sur la jante par l'intermédiaire de rivets

(*fig.* 6 *et* 7) ou de boulons (*fig.* 4 *et* 8), dont la tête est noyée dans l'épaisseur du bandage, et assez longue pour que la roue puisse passer plusieurs fois sur le tour sans qu'il devienne nécessaire de les changer. Le fer des rivets ou des boulons ne doit pas surpasser en dureté celui du bandage, car il en résulterait une usure inégale. Quelquefois on a fait usage de vis noyées dans l'épaisseur du bandage (*fig.* 5, *pl.* 43), mais cet assemblage est insuffisant et manque de solidité. Les boulons doivent être tournés avec soin, à la demande du trou qu'ils doivent remplir, afin qu'il ne reste aucun vide; l'extrémité doit être matée sur l'écrou ; la pose doit en être faite, comme pour les rivets, avec tout le soin possible, car le moindre jeu occasionne leur prompte destruction; il y aurait sans doute un avantage marqué à les poser à chaud.

Les bandages, et plus spécialement ceux des roues motrices, doivent être fabriqués en fer dur et aciéreux, en fer au bois de première qualité, travaillé, soudé et étiré au marteau ; ils doivent recevoir entièrement, ou à très-peu près, leur forme définitive sous l'action du marteau dans des étampes ; ils ne doivent, tout au plus, passer au laminoir que pour être parés et dressés. Il convient, en outre, de disposer les mises perpendiculairement à la surface de roulement. On s'est toujours beaucoup préoccupé de la fabrication des bandages, et elle a fait de grands progrès en France dans ces dernières années. En appliquant des moyens de fabrication d'une puissance suffisante aux fers aux bois de première qualité et de nature aciéreuse que fournissent plusieurs de nos régions métallurgiques, on est arrivé à obtenir des bandages qui ne le cèdent en rien aux meilleurs produits anglais. On a cherché souvent à augmenter la durée des bandages, en y soudant une mise d'acier, en les trempant en paquet, etc., mais ces essais n'ont jamais eu qu'un succès problématique ; la solution doit être cherchée dans l'emploi des bandages en acier fondu fabriqués sans soudure.

Les bandages sont livrés aux ateliers de construction ou de réparations en bandes coupées de longueur ; on les cintre à chaud et on les soude avec des coins rapportés dans le joint formé par le

rapprochement des deux extrémités que l'on a préalablement refoulées en forme de biseau ; la soudure doit être faite avec le plus grand soin, car c'est le plus souvent parce qu'elle est mal exécutée que la solidité des bandages est compromise. Lorsqu'une soudure est faite, on peut reconnaître si elle est bien exécutée en humectant la surface du bandage, au moment où il vient d'être tourné, avec une dissolution étendue d'acide sulfurique ; s'il existe un défaut de soudure, il devient immédiatement manifeste.

Toutes les roues de machines d'un même chemin de fer, toutes celles au moins d'un même système de machines, doivent être exactement fabriquées sur un même calibre, afin qu'on puisse facilement les remplacer les unes par les autres, d'une machine à l'autre ; on doit en même temps avoir un certain nombre de roues de rechange, car il arrive souvent que des roues s'échauffent, que des bandages se desserrent, etc., sans que la machine cesse d'être en parfait état. On la soulève au moyen d'une grue puissante établie dans les dépôts principaux et l'on change les roues, quelquefois même sans éteindre le feu. Lorsqu'une machine a des roues endommagées en marche, hors d'un dépôt ou d'un atelier, il faut également pouvoir les remplacer avec facilité, car il n'est guère possible de transporter une machine toute montée autrement que sur ses propres roues.

LIVRE III.

DESCRIPTION DU TENDER.

Le *tender* (*allége*, *chariot d'approvisionnement*) est destiné à porter le coke et l'eau nécessaires pour l'alimentation de la machine, dont il fait en quelque sorte partie intégrante. Il se compose d'une *caisse à eau* et d'un *train* ou *châssis* porté par deux ou trois paires de roues; il reçoit un *frein* que le mécanicien fait serrer par son chauffeur, pour ralentir ou arrêter la marche de la machine. Toute machine en feu est accouplée avec son tender, auquel elle est reliée par la barre d'attelage dont nous avons déjà parlé, et par les tuyaux de prise d'eau qui mettent les pompes en communication avec le réservoir.

Le tender a, en général, une capacité trop considérable et occupe une trop grande surface sur la voie, pour qu'il soit possible de l'incorporer d'une manière absolue à la machine; cependant, on construit, maintenant, pour des trains effectuant seulement de petits parcours, des machines qui portent leur eau et leur coke; il y a même tout lieu de croire que cette combinaison pourra s'appliquer, dans beaucoup de circonstances, au service des grandes lignes, lorsqu'on aura réalisé toutes les améliorations que comporte la locomotion, pour la qualité du combustible et pour l'économie de l'eau et de la vapeur, et lorsqu'on aura, par suite, réduit au strict nécessaire l'importance des approvisionnements qu'il faut trainer avec les machines. La construction des *machines-tenders* peut être considérée comme le début d'une réaction qui se manifeste contre le système des grands tenders, dont on s'était appliqué, dans ces derniers temps, à augmenter de plus en plus la capacité. Les derniers modèles adoptés en France ont une conte-

nance de 5 à 6^{mc} 1/2 d'eau, et 1,000 à 1,500 kilogrammes de coke.

Le tender porte toujours un frein qui agit, suivant les cas, sur une, deux ou trois paires de roues. Il se relie avec le convoi remorqué par une barre et un crochet de traction et par des tampons de choc, ordinairement élastiques. Il porte à l'arrière une caisse qui renferme les agrès les plus indispensables en cas d'accident, à l'avant et sur la caisse à eau, des coffres à outils et ustensiles divers.

§ 1er. — Caisse à eau.

1° Caisse, réservoir d'eau. — La caisse à eau affecte généralement la forme d'un fer à cheval (*fig.* 1, 2, 3 *et* 4, *pl.* 44). Les parois sont planes, horizontales ou verticales; les parois qui forment le réservoir proprement dit, sont en tôle dont l'épaisseur varie de 0^{m} 003 à 0^{m} 005; elles sont assemblées aux angles par des cornières rivées. Les parois verticales qui tendraient à se gondoler sous la pression occasionnée par la charge d'eau, sont consolidées par des fers cornières disposés, de place en place, dans le sens vertical, en regard les uns des autres et reliés deux à deux par des bandes de fer feuillard, qui font fonction d'entre-toises. On consolide également le fond par des cornières, dans les parties où il ne repose pas sur le châssis. La paroi supérieure de la caisse à eau est formée par une feuille de tôle de 0^{m} 003 à 0^{m} 004; elle ne porte que des objets d'un faible poids; elle consolide les parois verticales auxquelles elle s'attache. La hauteur de la caisse à eau est ordinairement de 0^{m} 80 à 1^{m}; dans l'exemple que nous avons choisi, la capacité est de 6^{mc} 500.

Lorsque le châssis de la machine et, par suite, celui du tender sont très-bas, et qu'en même temps les roues du tender ont un certain diamètre, on les fait pénétrer dans la caisse, comme l'indiquent les *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 44. La forme de fer à cheval est commandée par la nécessité de répartir, autant que possible, la charge sur tous les essieux, tout en plaçant le coke que l'on empile dans l'intérieur du fer à cheval, à la portée du chauffeur. C'est à tort

que quelques constructeurs, pour simplifier la construction, ont placé l'eau à l'arrière, dans une caisse à base rectangulaire, et le coke sur le devant ; dans ce cas, la roue d'arrière est surchargée. Quelquefois, pour augmenter la capacité du réservoir à eau, en reprenant une partie de l'espace réservé au coke, et où il est difficile d'aller le chercher, on a donné à la caisse, au sommet du fer à cheval, la forme représentée par la *fig.* 3, *pl.* 48; *fig.* 4 *et* 5, *pl.* 49 ; il faut alors augmenter l'épaisseur de la tôle que le frottement du coke use assez promptement; cette usure est le seul inconvénient que présente cette disposition.

Quelques constructeurs ont préféré à la caisse que nous venons de décrire, une caisse prismatique, placée à l'arrière, qui laisse toute la partie antérieure disponible pour charger le coke ; en combinant convenablement la forme de cette caisse et la position des roues, on peut encore arriver à bien répartir sur celles-ci la charge totale.

Un plancher général dépendant de la caisse à eau, ou rapporté sur le châssis, dans l'intervalle que la caisse à eau laisse à découvert, ferme l'espace compris entre les deux branches du fer à cheval et constitue le magasin à coke. Quelquefois, on fait plonger ce plancher entre les deux brancards du châssis, pour augmenter la capacité de ce magasin. Souvent on a fermé l'entrée du fer à cheval par une porte à coulisse, glissant entre deux rainures verticales, ou par deux portes à charnières, ou mieux enfin par une simple cloison en planches qui laisse à la partie inférieure une ouverture suffisante, afin de pouvoir empiler le coke sur une plus grande hauteur ; l'application de cette disposition dépend uniquement des règles adoptées sur chaque chemin de fer pour le service du coke, suivant qu'on approvisionne la machine pour un long parcours, ou qu'on renouvelle fréquemment sa provision.

Les parois extérieures de la caisse à eau sont prolongées au-dessus du fond supérieur pour former une hausse ou galerie, qui sert à retenir tous les ustensiles et objets que le mécanicien pose sur le tender ; elle peut servir en même temps pour approvisionner une plus grande quantité de combustible, ou pour retenir les sacs

remplis de coke que l'on pose quelquefois en réserve sur la caisse à eau (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 44). La caisse doit porter, sur les côtés intérieurs du fer à cheval, quatre poignées qui servent à l'enlever au moyen d'une grue, lorsqu'il y a quelques réparations à faire (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 44).

2° Accessoires de la caisse a eau. — La caisse à eau présente, pour l'introduction de l'eau que fournissent les réservoirs et les grues hydrauliques, une ouverture placée à l'arrière et percée dans la paroi supérieure de la caisse; elle est garnie d'une cornière qui en forme le bord et qui a pour objet d'empêcher les fragments de coke et objets de toute nature placés sur le tender de tomber dans la caisse; elle est garnie, en outre, d'un couvercle indépendant qu'on enlève à la main ou d'un couvercle à charnière qu'on relève également au moyen d'une poignée (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 49); enfin, elle reçoit un *panier* conique, en cuivre rouge, percé d'une multitude de petits trous dont le diamètre varie de 0m 003 à 0m 005, depuis le bas jusqu'à la partie supérieure. Ce panier retient tous les menus objets qui peuvent être amenés par l'eau des réservoirs, tels que pailles, brins d'herbe, branchages, chiffons, poissons, etc., et qui, entraînés dans les tuyaux d'aspiration, pourraient empêcher le jeu des clapets. Depuis quelques années, pour augmenter l'espace disponible pour le chargement du coke, et pour diminuer la saillie des grues hydrauliques, on place souvent deux ouvertures dans les deux angles d'arrière de la caisse; le rebord qui les entoure s'élève jusqu'au niveau des hausses, et affecte, ainsi que le couvercle, la forme d'un carré dans lequel est inscrit le panier en cuivre (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 44; *fig.* 2, *pl.* 48; et *fig.* 4 *et* 5, *pl.* 49).

On place sur le devant de la caisse à eau une ou deux boîtes en tôle ou en bois, fermant au moyen d'un cadenas, et servant au mécanicien pour placer ses outils, ses effets, etc. (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 45; *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 48). Il convient d'assujettir ces boîtes sur la caisse à eau, pour qu'elles ne tombent pas sur la voie ou ne soient pas projetées sur la machine, en cas d'accident.

On trouve enfin, sur la plupart des tenders, des coffres placés en avant, des deux côtés, et pouvant servir de siége (*fig.* 2, 3 *et* 4, *pl.* 44; *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 48); ces coffres servent pour placer les chiffons, la graisse, etc. Quelques constructeurs les ont entièrement supprimés, pour augmenter, sur un châssis donné, la capacité du réservoir à eau; on peut, en effet, s'en passer, en donnant aux caisses à outils placées sur le tender une capacité suffisante; il n'y a, du reste, aucune utilité à les disposer en forme de siéges, qui ne servent qu'aux personnes étrangères au service, dont la présence sur la machine est toujours un embarras; si le mécanicien et le chauffeur ont besoin de s'asseoir, pour éviter la fatigue de longues courses, on leur donne des strapontins légers qu'ils accrochent à la rampe, et sur lesquels ils peuvent s'asseoir sans cesser d'être à portée des pièces qu'ils doivent manœuvrer et sans perdre de vue la voie et l'avant de la machine.

On voit quelquefois régner sur les côtés extérieurs de la caisse à eau, à la hauteur du tablier, une petite galerie formée par une feuille de tôle de 0^m 10 à 0^m 15 de large, ménagée pour faciliter la circulation autour du tender pendant la marche. Cette addition n'a pas d'utilité, et on y a renoncé.

Les *soupapes de prise d'eau* sont au nombre de deux; elles sont placées sur un *siége* fixé au fond de la caisse, à la partie antérieure; elles sont manœuvrées par des tiges qui traversent la paroi supérieure de la caisse, et sont commandées par de petites manettes en fer. La *fig.* 5, *pl.* 44, indique la disposition que l'on adopte le plus généralement. Le siége de la soupape doit s'élever de 0^m 05 à 0^m 06, en contrehaut du fond du tender, pour que les dépôts qui s'y accumulent ne pénètrent pas dans les tuyaux d'aspiration. Il convient, quoique cette précaution soit généralement négligée, de disposer un bouchon ou un robinet de vidange, pour mettre le tender à sec toutes les fois que cela est nécessaire. Quelquefois, par mesure de précaution, on recouvre le siége de la soupape d'un panier en fil de laiton à mailles très-serrées, ou formé d'une feuille de cuivre, percée de trous très-petits. La partie supérieure de la tige de la soupape est filetée et passe dans un écrou en bronze; en la faisant

tourner au moyen de la manette, le mécanicien l'ouvre graduellement, et règle l'ouverture au degré convenable. On peut fixer la manette sur l'écrou, que l'on rend mobile, la tige étant maintenue transversalement par des guides, mais la disposition qui précède est préférable. Une combinaison plus simple consiste à faire reposer la manette sur une pièce annulaire en fonte, sur laquelle sont tracés des crans étagés en forme de gradins, et servant à régler l'ouverture de la soupape; mais on ne peut faire varier l'ouverture que par sauts brusques, et la trépidation du tender peut souvent déplacer la manette et déranger l'alimentation. Le siége de la soupape est une pièce en bronze, boulonnée sur le fond du tender et recevant en dessous le tuyau d'aspiration, qui est assemblé par un joint à bride.

§ 2. — Châssis.

1° Chassis proprement dit. — Le *châssis* est intermédiaire entre la caisse à eau et les roues; il remplit la même fonction que le châssis d'un wagon ou d'une locomotive, en tant qu'on le considère comme véhicule, et sa construction est basée sur les mêmes principes; il est en bois ou en tôle. Les opinions sont partagées sur le mérite de ces deux systèmes : le premier a pour lui l'avantage de la légèreté et de l'économie des frais de premier établissement; s'il est plus coûteux d'entretien, ce qui pourrait être contesté jusqu'à un certain point, il est moins dispendieux pour les réparations des avaries causées par un accident. Le châssis en tôle résiste mieux à des chocs d'une intensité modérée, il est plus rigide et conserve mieux ses formes dans les circonstances ordinaires; il convient pour les machines à grande vitesse, qui doivent entraîner avec elles l'eau et le coke nécessaires pour de longs parcours sans arrêt, et qui ne comportent que l'adjonction de véhicules d'une solidité à toute épreuve; il convient également pour des trains de marchandises très-lourds.

Les châssis en bois sont formés de 2 ou 4 brancards ou longerons en bois de chêne, réunis aux deux extrémités par des traverses également en bois; ils sont consolidés par une ou plusieurs

traverses intermédiaires (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 49). Lorsque le plancher qui forme le fond du magasin à coke descend au-dessous de la caisse à eau, comme l'indiquent les deux figures précédentes, il sert lui-même d'entretoise entre les brancards et remplace des traverses en bois. On consolide quelquefois le châssis en y ajoutant deux pièces de bois diagonales, assemblées à *mi-bois* avec les traverses et formant *croix de Saint-André*. Les longerons sont assemblés à tenons et mortaises sur les traverses extrêmes; les traverses intermédiaires sont assemblées de même sur les longerons. La hauteur de ces diverses pièces de bois est en général de 0^m 25, et la largeur varie de 0^m 10 à 0^m 12. Les assemblages sont consolidés par de fortes équerres.

Le châssis en tôle est ordinairement composé de deux longerons formés chacun de deux feuilles de tôle, reliées par des entretoises en fonte dans lesquelles passent des boulons en fer (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 45), ou par un faux brancard en bois. Les plaques de garde, qui remplissent la même fonction que celles des roues de support dans les machines, sont rapportées (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 45, *et fig.* 1, *pl.* 48) ou découpées dans la tôle (*fig.* 4 *et* 5, *pl.* 49). Les longerons sont reliés par des feuilles de tôle de champ, formant traverses, et assujetties par leurs extrémités au moyen de cornières; aux deux extrémités, les traverses sont consolidées par deux tabliers en tôle, entre lesquels sont fixées les pièces de l'attelage; le tablier supérieur sert, à l'avant, de plate-forme pour le service, il est en quelque sorte le prolongement de la plate-forme de la machine et du plancher du magasin à coke; à l'arrière, il sert de support pour la caisse à outils. Le tablier inférieur ou *faux tablier* complète la traverse et sert, avec le tablier supérieur, de point d'attache aux barres et chaînes d'attelage. Pour consolider le châssis, on fait régner dans son milieu, et entre les deux traverses extrêmes, une bande de tôle ou deux cornières rivées dos à dos et assemblées avec les traverses.

Les châssis de tender sont généralement à quatre roues. On trouve quelques exemples de châssis à six roues (*fig.* 4, *pl.* 49), mais on peut toujours se contenter de deux paires de roues, lors

même qu'on donne aux réservoirs à eau et à coke des dimensions très-considérables ; la troisième paire de roues augmente les frais de construction et détermine un surcroît de frottement au passage des courbes ; il faut, en outre, établir un frein compliqué ou réduire son action à deux paires de roues.

2° Attelages. — Dans les premières machines, la liaison du tender avec la machine se faisait au moyen d'une simple barre de fer ou *barre d'attelage*, fixée à chaque extrémité par un *boulon d'attelage*. Pour séparer le tender de la machine, on enlevait le boulon d'attelage de la machine comme nous l'avons indiqué, en décrivant les accessoires de la machine. Le boulon d'attelage du tender était fixe comme l'indique la *fig.* 1, *pl.* 45 ; l'extrémité de la barre d'attelage prise entre deux tasseaux attachés l'un au tablier supérieur, l'autre au tablier inférieur, était traversée, ainsi que ces deux tasseaux, par le boulon d'attelage.

Lorsque la vitesse des convois s'est accélérée et surtout lorsque l'emploi des machines à cylindres extérieurs est devenu plus général, on a senti le besoin de relier d'une manière plus intime la machine avec le tender, de prendre un point d'appui sur celui-ci pour combattre la tendance au mouvement de lacet, et pour éviter les chocs répétés qu'éprouvait la barre d'attelage dans le sens longitudinal. Le premier moyen employé, le plus simple de tous, a consisté à placer sous le tablier du tender ou sous la plate-forme de la machine, suivant que les circonstances le permettaient, un ressort de traction en acier ; ce ressort portait un crochet, et un crochet semblable était fixé à la traverse d'arrière de la machine, ou à la traverse d'avant du tender (*fig.* 1 *et* 3, *pl.* 49). Aux deux crochets, on suspendait les deux étriers d'une barre d'attelage à vis (*fig.* 3, *pl.* 49) ; en même temps, on armait la traverse d'avant du tender de deux tampons en bois (*fig.* 1, *pl.* 49), qui s'appuyaient sur la traverse d'arrière de la machine, ou *vice versâ*. Pour atteler, on poussait le tender contre la machine, on accrochait la barre d'attelage, et, en faisant tourner la vis au moyen de la tige soudée sur la partie intermédiaire, on serrait

fortement le tender contre la machine, en donnant au ressort une tension totale de 1,500 à 1,800 kilogrammes. Le tender et la machine étant rendus en quelque sorte solidaires, les mouvements latéraux de celle-ci étaient plus ou moins efficacement contrariés, sa stabilité plus ou moins assurée. Ce mode d'attelage a été appliqué, dès l'origine, aux machines du chemin de fer de Rouen et sur quelques autres lignes, où il a toujours donné des résultats très-satisfaisants. Essayé, à l'origine de l'exploitation, sur le chemin de fer du Nord, sur des machines très-chargées à l'arrière, il a présenté l'inconvénient grave de ruptures fréquentes de la vis, occasionnées par l'inégalité de la voie, qui laissait beaucoup à désirer au début. On a cherché à le remplacer par un *tendeur* à ressort agissant sur les tampons de serrage. Cette dernière disposition a été imitée sur plusieurs autres chemins, où l'on ne s'est peut-être pas rendu un compte suffisant des motifs qui l'avaient fait adopter une première fois. Dans la plupart des cas, elle est loin de valoir la simple barre d'attelage à vis; il est rare du reste qu'elle fonctionne d'une manière satisfaisante.

Les *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 45, et les *fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 46, représentent l'ensemble du tender appliqué aux machines Crampton du chemin de fer du Nord, et les détails de celui qui a été appliqué aux machines à voyageurs du chemin de fer de Lyon. Dans ce dernier tender, la barre d'attelage est fixée au châssis par un boulon passant à travers deux guides en fer boulonnés sur le tablier supérieur et sur un tablier intermédiaire (*fig.* 3, *pl.* 46). Les deux tampons de serrage sont formés de boites en fonte boulonnées entre deux tabliers intermédiaires (*fig.* 1 *et* 2, *pl.* 46), dans l'intérieur desquelles se meut un ressort en caoutchouc vulcanisé formé de six rondelles; ces rondelles comprises dans un cylindre fermé à une des extrémités qui forme tampon, sont pressées par une pièce en fonte qui sort de la boite par un trou servant de guide; sur l'extrémité de cette pièce s'appuie un petit excentrique monté sur un arbre horizontal, commandé lui-même par une roue dentée engrenant avec une vis sans fin (*fig.* 1, 2 *et* 3, *pl.* 46); au moyen d'une manivelle appliquée sur la tige qui forme le prolongement

de la vis sans fin ; le mécanicien, après avoir attelé la machine avec son tender, comprime les ressorts en caoutchouc et tend l'attelage en pressant fortement les tampons sur la traverse d'avant de la machine.

Un autre mode d'attelage a été adopté sur plusieurs chemins de fer; la barre d'attelage est attachée sous la plate-forme de la machine à un ressort de traction qui détermine la tension nécessaire pour faire presser les tampons de serrage sur la traverse qui leur sert de point d'appui ; pour placer et enlever le boulon d'attelage du tender qui est mobile, le mécanicien agit au moyen d'une clef à douille, armée d'un long bras de levier sur la tige d'un excentrique horizontal placé derrière la bride du ressort, et augmente la tension de celui-ci jusqu'à ce que les tampons cessent de serrer contre la traverse ; la pression de la barre sur son boulon d'attelage est momentanément supprimée et celui-ci peut être enlevé avec facilité. Le ressort peut être placé sous le tablier du tender, et on peut alors employer l'arbre horizontal et la vis sans fin que nous avons décrits plus haut, pour augmenter la tension au moment où on enlève ou met en place la barre d'attelage (*fig.* 4, *pl.* 49).— La manœuvre de cet excentrique est souvent difficile.

La question de l'attelage a perdu beaucoup de son importance depuis que l'on est arrivé, par l'application rationnelle des *contre-poids*, à équilibrer complétement les actions intérieures qui tendaient à faire osciller la machine par rapport au tender, dans le sens longitudinal comme dans le sens transversal. C'est une question que nous aurons du reste l'occasion de traiter avec détail, lorsque nous examinerons la machine locomotive dans son ensemble.

Pour empêcher la machine de se séparer du tender en cas de rupture de la barre d'attelage, on place deux *chaînes de sûreté*, fixées à la traverse de la machine ou à celle du tender, et terminées par un anneau ou un crochet qui s'attache, lorsque la barre d'attelage est mise en place à un crochet ou un anneau assujetti sur le tender ou sur la machine ; ces chaînes doivent être très-courtes et n'avoir que le jeu nécessaire pour la mise en place.—On fait

généralement les chaines de sûreté trop faibles ; il conviendrait d'employer du fer d'excellente qualité de 0m 025 à 0m 030 de diamètre.

Lorsque le châssis est en bois, on relie l'attache de la barre d'attelage de la machine avec le crochet de traction placé à l'arrière du tender au moyen d'une forte barre de fer qui transmet de l'un à l'autre, et sans fatiguer le châssis, l'effort exercé par la machine *(fig. 1, pl. 49)*.

L'*attelage du tender* avec le train se fait quelquefois au moyen d'un simple crochet sur lequel on applique *la barre d'attelage à vis* du premier wagon *(fig. 1, pl. 49)* ; *les tampons de choc* sont formés, comme ceux de la traverse d'avant des machines, de crin ou de feutre comprimé. Le plus souvent on emploie un système d'attelage élastique ; il se compose d'un *ressort de choc et de traction*, placé sous le tablier d'arrière ou sous la caisse à eau, saisi à son sommet par la barre d'attelage, et s'appuyant par ses extrémités sur des tiges en fer armées à leur extrémité de *tampons* de choc *(fig. 4 et 5, pl. 46)*.

La *barre de traction* est fixée à la bride du ressort par une clavette ou par un boulon ; elle est dirigée par un guide en fonte boulonné sur le tablier d'arrière et le faux tablier ; lorsque le ressort de traction est placé sous la caisse à eau, il s'appuie, au moyen de patins en fonte, sur l'extrémité des *tiges de choc*, qui sont dirigées par deux guides en fonte et par les traverses intermédiaires *(fig. 1 et 2, pl. 45)* ; lorsque le ressort est placé sous le tablier d'arrière, les tiges de choc portent dans un point intermédiaire une bride dans laquelle est engagée et sur laquelle presse l'extrémité du ressort *(fig. 4, pl. 46)* ; la tige est dirigée près du tampon par un *faux tampon* en fonte et par un guide additionnel placé à l'autre extrémité.

La course de la barre de traction et celle des tiges de choc est limitée, car si le ressort est destiné à amortir les chocs qui se produisent dans les circonstances habituelles, ils ne pourraient pas résister à des chocs accidentels très-violents, qui les briseraient ou tout au moins les déformeraient ; pour cela on dispose sur ces

tiges des embases qui viennent s'appuyer sur les guides en fonte assujettis au tablier d'arrière (*fig.* 4 *et* 5, *pl.* 46). Ces guides doivent être en deux parties lorsque la disposition des embases ne permet pas d'enfiler les tiges sans les démonter.

Lorsqu'on se propose d'établir un système d'attelage complet, on doit préférer la disposition de la *pl.* 45 à celle de la *pl.* 49 ; elle a moins de tendance à déformer le châssis qui supporte les chocs, et elle charge moins les roues d'arrière qui ont à porter la plus grande partie du poids de l'appareil.

Les tiges de traction et de choc ont 0m 05 à 0m 06 de diamètre ou d'équarrissage ; les tampons, proprement dits, sont en orme tortillard, ils sont fixés au moyen de vis sur une large embase que porte chaque tige de choc ; l'un des tampons est bombé et porte sur le tampon plat de la première voiture, l'autre est plat et reçoit le tampon bombé de la voiture. On réunit la première voiture du train avec le tender, au moyen d'une vis d'attelage à pas inverse semblable à celle de la *fig.* 6, *pl.* 46, mais de dimension plus faible ; habituellement le tender porte, comme chaque voiture, sa barre d'attelage, elle est fixée à demeure dans l'œil du crochet (*fig.* 5, *pl.* 46), et lorsqu'elle est en place, elle vient embrasser le crochet opposé ; on serre la vis et on presse les tampons de choc les uns contre les autres, pour opposer une résistance au mouvement de lacet que le tender et les véhicules tendent à prendre par l'effet même du mouvement de translation.

Des *chaînes de sûreté* (*fig.* 3, 4, *pl.* 46 *et fig.* 1, 2, *pl.* 45) qui s'attachent à des chaînes semblables fixées à toutes les voitures, complètent l'attelage et empêchent le train de se séparer en cas de rupture de la barre d'attelage, pourvu toutefois que ces chaines soient assez fortes pour ne pas se briser sous l'action du choc qui se produit naturellement, en pareille circonstance.

On place habituellement sur le tablier d'arrière une grande caisse en bois ou en tôle, fermée au moyen d'un cadenas ; cette caisse renferme les appareils et agrès de première nécessité pour relever une machine ou des wagons en cas d'accident, tels que *crics*, *verrins*, *pinces*, *prolonge*, *chaînes*, etc. ; lorsqu'il n'y a pas

de tablier à l'arrière du tender, ces objets peuvent être placés sur la caisse à eau ou dans l'un des wagons de bagage du convoi.

Les *attaches* de la caisse à eau sur le châssis, consistent en pattes en fer ou en fonte rivées sur le fond de la caisse et boulonnées sur les longerons ; elles sont au nombre de quatre ou de six ; quelquefois on a employé avec avantage des cornières.—Tout en présentant beaucoup de solidité, le démontage doit en être facile, car il est nécessaire de séparer la caisse de son châssis toutes les fois que le fond doit être réparé, et lorsque le châssis a lui-même besoin de réparations.

§ 3. — Suspension.

Les *plaques de garde* sont, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, le plus souvent rapportées, quelquefois découpées dans les feuilles de tôle qui constituent les longerons; elles sont généralement doubles. Il est nécessaire de réunir par de fortes entretoises les plaques de garde d'un même côté, pour les consolider contre l'action des freins qui tend à les fausser. Leur disposition ne présente du reste rien de spécial qui n'ait été indiqué lorsque nous avons décrit la machine locomotive.

Les *boîtes à graisse* sont en fonte avec coussinets en bronze; elles sont maintenues entre des guides en fonte fixés sur les plaques de garde, comme dans les machines, ou simplement guidées directement par les plaques de garde, qui sont prises dans des rainures venues de fonte sur la boîte, comme cela se fait pour les boîtes à graisse de voitures. Les fusées des essieux sont toujours extérieures aux roues, et les boîtes sont disposées comme celles des machines à châssis extérieurs, le devant fermé par une paroi venue de fonte avec le reste. Le *dessous de boîte* est disposé comme celui des machines et fixé par des goujons maintenus entre les guides des plaques de garde, ou par des boulons lorsqu'il n'y a pas de guides. Le dessus de la boîte porte un mamelon qui reçoit la tige du ressort de suspension et qui est entouré d'une cavité formant réservoir à graisse (*fig.* 1 *et* 2, 3 *et* 4, *pl.* 47); les *fig.* 3 *et* 4 indiquent une disposition adoptée sur le chemin de fer de Strasbourg, pour aug-

menter la capacité de ce réservoir. Lorsque les sabots du frein sont guidés par une barre longitudinale qui porte en même temps l'arbre-levier de transmission, comme on le verra plus loin, cette barre se termine par deux crochets qui s'appuient sur des collerettes venues de fonte sur les boites à graisse (*fig.* 1 *et* 2, 3 *et* 4, *pl.* 47).

Les *ressorts de suspension* ne diffèrent pas, quant au mode de construction, de ceux des machines, leurs dimensions doivent être calculées en raison de la charge qu'ils ont à supporter, de telle sorte que le châssis soit horizontal ; comme cette charge varie, du reste, dans des limites assez étendues, il est nécessaire qu'ils n'aient qu'une flexibilité assez restreinte, c'est-à dire que la flèche ne varie pas d'une quantité considérable, suivant que la caisse et le réservoir à coke sont pleins ou vides. La *bride* du ressort s'appuie par sa *tige* sur la boite à graisse ; quelquefois elle porte en dessus une tige qui passe dans un guide fixé au longeron (*fig.* 2, *pl.* 49), pour empêcher le ressort de se déverser ; cette précaution est utile surtout lorsqu'il n'y a qu'une plaque de garde, car, dans le cas contraire, le ressort est dirigé par les deux plaques de garde.

Le châssis repose quelquefois sur les extrémités des ressorts au moyen de *patins* en fonte fixés sur les longerons, et lorsque le ressort fléchit en s'allongeant il glisse sur ces patins ; dans ce cas, il n'y a d'autre moyen de régler la charge du ressort qu'en modifiant sa forme, en allongeant ou raccourcissant sa tige ou en interposant des cales entre les patins et le longeron. Mais le plus souvent on dispose les moyens d'attache de manière à pouvoir régler la charge du ressort sans le démonter ; on peut fixer les patins au châssis au moyen d'une tige filetée, passant dans un support boulonné sur les longerons et retenue par un double écrou (*fig.* 11 *et* 12, *pl.* 47), en ayant soin de guider ces patins pour empêcher le déversement latéral. On peut encore employer une tige à étrier (*fig.* 8, 9 *et* 10, *pl.* 47), attachée sur un support à pivot pris entre les deux plaques de garde ou entre les deux longerons ; cette dernière disposition rend plus libre l'allongement du ressort lorsque sa flèche varie avec la charge.

§ 4. — Roues et essieux.

La construction des roues de tenders a suivi les mêmes phases que celle des roues de machines; aux dimensions près, elles sont établies sur le même modèle que les roues de support des machines à châssis extérieur (*fig.* 5 *et* 6, *pl*, 47). On fabrique, en Angleterre, des roues de tenders avec moyeux en fer forgé ; mais les roues à moyeux en fonte et à rais en fer forgé soudés à la jante, suffisent pour tous les besoins; l'emploi des moyeux en fer forgé ne serait réellement justifié que si l'on s'appliquait à alléger, par tous les moyens possibles, le poids du matériel à remorquer.

Les dimensions des fusées doivent être en rapport avec la charge qu'elles ont à supporter; elles varient avec la vitesse: c'est ainsi que, sur le chemin de fer du Nord, les fusées qui avaient 0^m 08 de diamètre sur 0^m 15 de longueur, ont été portées à 0^m 095 sur 0^m 190; les essieux de tenders des machines Crampton, construites pour le même chemin, ont des fusées de 0^m 13 de diamètre sur 0^m 24 de longueur (*fig.* 7, *pl.* 47).

Sur quelques chemins de fer, on a cherché à simplifier le matériel en plaçant sous les tenders des roues ordinaires de wagon, et en portant le nombre des roues de 4 à 6; mais il y a peu de chemins où le nombre des machines soit assez peu considérable pour qu'il y ait intérêt à ne pas constituer une série spéciale de roues pour les tenders.

Les observations que nous avons faites au sujet des *bandages*, en décrivant la machine locomotive, s'appliquent aux roues de tender; l'épaisseur au milieu n'atteint pas toujours la même dimension que dans les roues de machines, mais elle doit être portée au moins de 0^m 04 à 0^m 045.

§ 5. — Frein.

Le *frein* appliqué au tender est destiné à amortir la vitesse acquise de la machine et du convoi qu'elle remorque, lorsqu'il est nécessaire de ralentir ou d'arrêter. Il se compose essentiellement d'une série de leviers, vis ou engrenages, au moyen desquels le chauffeur, qui accompagne le mécanicien, peut presser fortement

des *sabots* en bois sur la circonférence des roues. Le rapport des éléments du frein est calculé de telle sorte, qu'un seul homme, par son poids ou par sa force musculaire, puisse déterminer un frottement supérieur à l'adhérence des roues, de telle sorte que celles-ci soient arrêtées dans leur mouvement de rotation, pour *glisser* sur les rails; il se développe ainsi, en même temps que la machine cesse de fonctionner, un travail résistant très-considérable, qui détruit graduellement la quantité de mouvement dont le convoi est animé et finit par occasionner l'arrêt. Lorsque le frottement des sabots du frein n'est pas supérieur à l'adhérence, la roue continue à tourner en frottant sur le sabot; il y a toujours un travail résistant qui absorbe une partie de la force vive et produit une diminution de vitesse correspondante.

La disposition de mécanisme la plus simple consiste dans l'emploi d'un levier, sur lequel l'homme préposé à la manœuvre agit par son poids; quel que soit le rapport du levier sur lequel s'applique l'action de l'homme au levier qui porte le sabot, il est difficile d'établir une proportion telle, que la roue puisse être rendue immobile. L'emploi du frein à levier doit donc être remplacé par un autre procédé dès que le tender est un peu lourd, car il importe de ne pas laisser frotter indéfiniment les sabots, qui se polissent et cessent d'exercer le frottement normal; ils s'usent d'ailleurs rapidement et peuvent même s'enflammer.

La combinaison du mécanisme des freins varie de bien des manières; l'une des plus anciennes et des plus simples, et dont nous n'hésitons pas à recommander l'application, est celle que représentent les *fig.* 1 *et* 2, *pl.* 49. Une tige verticale, filetée à son extrémité supérieure, est appelée par un écrou mobile placé au centre d'une roue d'angle commandée par une autre roue d'angle et par une tige horizontale, dont l'extrémité porte un petit *volant* en forme de *manivelle*. Cette tige est entraînée dans le sens vertical, de bas en haut ou de haut en bas, par le mouvement de rotation que le chauffeur imprime au volant; elle porte à sa partie inférieure deux bielles attachées chacune à l'un des deux sabots, lesquels sont suspendus, au moyen d'une articulation, au châssis même du

tender. Lorsque le chauffeur fait monter la tige verticale, en faisant tourner le volant, les sabots s'écartent, s'appliquent contre les roues qu'ils pressent de plus en plus, jusqu'au moment où la pression exercée fait équilibre à l'action développée sur les bras du volant. Pour éviter de fatiguer les plaques de garde et les boîtes à graisse, on place un second sabot extérieurement sur chaque roue, en le reliant, au moyen de tringles en fer, au sabot intérieur de l'autre roue, comme l'indique la *fig.* 1, *pl.* 49. Ce système de frein se réduit souvent aux deux sabots intérieurs, les deux plaques de garde du même côté étant alors solidement reliées entre elles. Il a l'avantage d'une grande simplicité; lorsque les bielles de transmission de l'effort sur les sabots se rapprochent de l'horizontale, le frein prend une puissance considérable, car l'effort exercé devient la petite diagonale d'un losange dont la résistance est la grande diagonale; aussi est-il nécessaire d'empêcher des ouvriers maladroits de rapporter sur la carcasse en fer, des sabots, des blocs de bois d'une grande épaisseur, pour que le frein ne reste pas impuissant jusqu'à ce que les sabots aient atteint un certain degré d'usure. On a reproché à ces freins d'exiger une grande précision dans la taille des sabots, pour que ceux-ci puissent être tous les quatre en prise à la fois. Cette objection est exacte; elle subsiste pour tous les freins dans lesquels chaque roue est pressée par deux sabots; mais dans ce cas-ci, il y a toujours un sabot qui porte en plein sur chaque roue, et qui, à défaut du second, lui transmet à lui seul toute la pression engendrée par l'action exercée sur l'appareil. Cet inconvénient est en grande partie corrigé par la flexibilité des pièces de fer, qui compense plus ou moins, par le jeu qu'elles prennent, l'insuffisance de certaines longueurs. On a également reproché à ce frein d'avoir ses sabots attachés au châssis, qui se relève sur ses ressorts lorsque la provision d'eau et de coke s'épuise : mais nous avons déjà eu l'occasion de faire remarquer que les ressorts du tender, tout en ayant la plus grande sensibilité possible, ne devaient avoir qu'une flexibilité restreinte, c'est-à-dire que la flèche des ressorts en place ne devait varier que dans des limites assez étroites, suivant que le tender était vide ou

plein. Le déplacement, par rapport aux roues, des sabots entraînés par le châssis est peu considérable, et lorsqu'on serre le frein, ces sabots, en emboîtant les roues, font relever ou abaisser momentanément le châssis, en déchargeant les ressorts ou en les comprimant, jusqu'à ce que leur contour s'applique exactement sur celui de la roue ; si toutefois il n'y a pas dans le support assez de flexibilité, ou s'il ne porte pas même des articulations qui évitent ce déplacement du châssis, il peut tout au plus en résulter un léger surcroît d'usure pour les sabots, mais l'effet de l'appareil n'est affaibli en rien. Une dernière objection a seule quelque valeur : elle est relative à l'effort de torsion exercé sur l'essieu, dont les deux roues glissent sur le rail, lorsqu'une seule d'entre elles est serrée par les sabots du frein ; mais il y a tout lieu de croire que les dimensions adoptées aujourd'hui pour la fabrication des essieux sont largement suffisantes pour résister sans altération à cet effort, car on ne signale pas, sur les nombreux tenders pourvus de freins construits d'après ce principe, des ruptures d'essieux qui puissent être attribuées à cette cause.

On a adopté dans beaucoup de circonstances un autre système de frein, dans lequel on s'est appliqué à rendre tout le système indépendant du châssis. Les *fig.* 1 à 4 de la *pl.* 48 indiquent les divers détails de construction de ce frein : le chauffeur exerce son action sur une manivelle appliquée à la partie supérieure d'une tige verticale, filetée à sa partie inférieure et maintenue par un guide qui la laisse tourner librement, mais qui s'oppose à tout déplacement vertical. La vis s'engage dans un écrou monté à pivot sur un levier en forme d'étrier (*fig.* 4), venu de forge sur un arbre horizontal très-court, fixé sur la traverse d'avant du tender et portant un second bras de levier, à angle droit avec le premier et plus court que lui (*fig.* 3) ; ce dernier levier reçoit une longue bielle, qui agit par l'extrémité opposée sur le système des sabots ; cette bielle étant très-longue et presque horizontale, le jeu des ressorts est sans influence sensible sur le frein. Une barre placée de champ et terminée par deux fourches qui embrassent un appendice ménagé à cet effet sur chaque boîte à graisse (*fig.* 3, *pl.* 48 et *fig.* 3 et 4, *pl.* 47),

sert de *guide* aux sabots du frein ; ceux-ci sont appliqués au moyen de vis sur un *support* en deux parties (*fig.* 4, *pl.* 48), qui embrasse le guide, et qui reçoit par articulation les bielles qui commandent les sabots. Le même système est appliqué de chaque côté du tender, et les guides servent de support à un arbre en fer qui reçoit l'action de la vis par l'intermédiaire d'un grand levier, et le transmet aux bielles de pression par l'intermédiaire de quatre petits leviers, opposés deux à deux (*fig.* 3 et 4, *pl.* 48). Les bielles de pression sont assemblées à fourche et au moyen d'un boulon sur l'extrémité des leviers correspondants ; elles peuvent être assemblées à deux longueurs différentes pour compenser l'usure des sabots. Pour remédier à l'inégalité d'usure des sabots, entre deux réparations, on donne plusieurs millimètres de jeu aux tourillons de l'arbre, dans l'œil que porte chacun des guides qui le reçoivent.

Ce second système de frein est d'une construction plus coûteuse que le premier ; il a l'inconvénient de ne presser chaque roue que d'un côté et de reporter toute la pression sur la boîte à graisse et sur le coussinet ; il ne détruit que partiellement l'effort de torsion auquel sont soumis les essieux dans le premier système, car l'arbre de transmission, dont les dimensions sont toujours assez restreintes, est lui-même susceptible de se tordre de quantités appréciables, et il n'y a incontestablement qu'une partie de l'effort appliqué sur le grand levier, qui soit transmis aux sabots commandés par l'extrémité de l'arbre. Il y a tout lieu d'admettre que, lorsqu'on en a fait l'application, on a sacrifié la simplicité et l'efficacité des dispositions antérieures à un principe théorique d'une importance très-restreinte, celui de l'indépendance du frein et du châssis. Ce principe qui peut être appliqué très-utilement aux voitures dont les ressorts doivent avoir et doivent conserver, même pendant le serrage des freins, une grande élasticité, ne nous paraît pas avoir le même degré d'utilité pour ce qui concerne les tenders.

Différentes modifications ont été apportées à ce dernier système de freins ; nous signalerons entre autres celles que représentent les *fig.* 1 et 2 de la *pl.* 45. La vis commande un arbre qui règne sur toute la largeur du châssis, et qui porte à chaque extrémité un

petit levier agissant sur une bielle ; chaque bielle s'applique sur le milieu d'un balancier qui commande par son extrémité inférieure le sabot de la roue d'avant, et par son extrémité supérieure une bielle de renvoi ; les deux balanciers sont réunis par une barre transversale qui sert d'entretoise et de point d'application aux bielles de commande, que les roues empêchent de placer dans le même plan que chaque levier. Chaque bielle de renvoi agit sur l'extrémité supérieure d'un levier pareil à celui qui la commande ; ce levier s'appuie à son milieu sur une petite bielle articulée sur le châssis, et agit à son extrémité inférieure sur le sabot de la roue d'arrière. Les sabots sont fixés sur des supports appliqués sur le guide ordinaire. Ce frein est, comme le précédent, indépendant du châssis, et il fonctionne, comme le premier frein que nous avons décrit, indépendamment de l'usure des sabots. Il peut être employé avec avantage pour des machines dont tous les détails doivent être parfaitement soignés, comme les machines Crampton auxquelles on l'a appliqué ; mais, dans la plupart des cas, le premier système répondra suffisamment à tous les besoins.

La *fig.* 3, *pl.* 49, indique, pour un tender à six roues, une disposition analogue à la précédente ; la bielle qui transmet l'action de la vis agit sur un petit balancier qui répartit l'effort sur les leviers des sabots, indépendamment de l'usure de ceux-ci. Le même balancier a été employé pour éviter l'influence de l'inégalité d'usure des sabots sur un tender à quatre roues. On fixe, sur les guides, deux arbres de transmission au lieu d'un seul, et les leviers qui commandent ces arbres sont attachés aux extrémités d'un petit balancier qui reçoit, à son centre, l'action de la bielle de commande ; chacun des arbres de transmission commande les deux sabots d'une même paire de roues.

Nous devons enfin signaler l'application qui a été faite du mécanisme du *cric* ordinaire, pour remplacer la vis : la tige verticale qui porte la manivelle est montée sur l'axe d'un pignon, ce pignon engrène avec une roue dentée, qui commande un pignon calé sur le même arbre, engrenant lui-même avec une crémaillère fixée à l'extrémité de la bielle de transmission. Cette disposition permet de serrer

le frein plus rapidement qu'avec la vis, mais elle exige l'emploi d'un *rochet* pour maintenir le serrage, sans l'intervention de l'homme qu fait la manœuvre, lorsque les roues sont arrêtées ; en outre, lorsqu'une dent de la crémaillère ou du pignon vient à se briser pendant le serrage du frein, il faut démonter tout l'appareil pour le desserrer complétement.

Les sabots de frein sont en bois de charme ou de hêtre très-sec ; on a quelquefois employé avec succès le peuplier blanc ; il faut un bois qui ne soit pas trop dur et trop susceptible de se polir par le frottement, car une très-forte pression deviendrait nécessaire pour fixer les roues. Les sabots s'usent assez promptement, et pour éviter des réparations trop fréquentes, il faut se réserver, dans le tracé de leur construction, une marge de 0^m 10 à 0^m 12 pour l'usure.

Pour calculer le rapport des éléments d'un frein, il suffit de recourir aux éléments de la statique, en tenant compte de la longueur de la manivelle et des leviers, du pas de la vis, ou des rayons des roues d'engrenage, si la transmission a lieu au moyen d'un cric : de l'angle des bielles de pression avec les leviers et avec la tige de la vis, si l'on adopte le premier système, etc. Le *frottement* total des sabots qui agissent sur une même paire de roues, c'est-à-dire le produit de la pression exercée sur la roue normalement à sa circonférence, multipliée par le coëfficient de frottement, doit dépasser sensiblement l'*adhérence* ou le produit du poids correspondant à cette paire de roues par le coëfficient de frottement des roues sur le rail. On peut, à défaut d'expériences qui se rapportent directement au sujet, admettre pour les résultats numériques à introduire dans le calcul : 0,20 pour le coëfficient de frottement des roues sur les rails, 0,30 pour celui des sabots sur les roues, et 25 kilog. pour l'effort exercé par un homme agissant à refus sur les bras de la manivelle.

§ 6. — Dispositions spéciales.

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, on a été conduit, pour les machines qui n'effectuent que de faibles parcours, à supprimer le

tender comme appareil séparé de la machine; on l'a remplacé par des caisses disposées à l'arrière de la plate-forme du mécanicien, sous cette plate-forme même, sous la chaudière ou sur ses côtés, d'une capacité suffisante pour recevoir l'eau et le coke nécessaires pour un parcours restreint. On dispose un frein sur la paire de roues d'arrière qui est très-chargée, et qui fournit un moyen d'arrêt suffisamment énergique. La *pl.* 73 représente une ancienne machine à quatre roues du chemin de fer de Paris à Saint-Germain, transformée en *machine-tender*; la *pl.* 72 représente également une machine, à quatre roues accouplées, du constructeur anglais Hawthorn, qui a réalisé la même disposition.

Les caisses à eau placées sur les machines du chemin de fer de Saint-Germain contiennent 2,500 litres d'eau, et, avec des trains légers, elles peuvent parcourir trois fois la distance entière de 18 kilom. sans renouveler leur provision d'eau.

On a été plus loin en Angleterre, on a construit des véhicules qui comprennent sur un même châssis le moteur et une caisse pour les voyageurs; ces *voitures à vapeur* ont été appliquées au service d'embranchements à faible circulation.

Nous devons également signaler une disposition inverse de la précédente; nous voulons parler du système de Verpilleux, dont ce constructeur a fait l'application pour la remonte des wagons à houille, de Rive-de-Gier à Saint-Etienne. La machine portée sur quatre roues comprend la chaudière et une paire de cylindres moteurs; le tender porte également une paire de cylindres qui reçoivent la vapeur de la chaudière, par l'intermédiaire d'un tuyau articulé. Cette disposition n'a pas précisément pour objet d'augmenter la puissance de l'appareil moteur, car celle-ci est limitée par les dimensions de la chaudière, et, en doublant le nombre des cylindres, on est conduit naturellement à réduire leur volume; elle a pour objet d'augmenter l'adhérence de tout le frottement dû au poids du tender, et de rendre possible l'emploi de roues de très-petit diamètre, ce qui permet, à puissance égale, et moyennant une réduction de vitesse, de remorquer des charges très-considérables. Cette disposition est parfaitement appropriée au chemin de fer de Saint-Etienne qui

a des rails très-légers, et qui n'auraient pas comporté une pression trop considérable au contact des roues dont les rails sont toujours couverts de poussière, de charbon, et plus glissants que les rails d'un chemin ordinaire à voyageurs, et qui présente enfin, entre Rive-de-Gier et Saint-Etienne, une rampe continue de 14 millimètres. Ce système peut recevoir d'utiles applications dans des circonstances analogues à celles que présente le chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon.

LIVRE IV.

EXAMEN DE LA MACHINE LOCOMOTIVE PRISE DANS SON ENSEMBLE.

Nous avons accompli jusqu'ici la partie la plus facile de notre tâche, en exposant les principes sur lesquels reposent la construction et le jeu de la machine locomotive, en la décrivant pièces par pièces ; il nous reste maintenant à examiner, à un point de vue général, quels sont les principes qui doivent présider à l'agencement général de cette machine, les conditions auxquelles il est nécessaire de satisfaire pour obtenir de l'ensemble des dispositions adoptées le service le plus efficace, le plus sûr et le plus économique. On ne peut pas se dissimuler que chaque constructeur n'a eu souvent d'autre guide que le sentiment mécanique des dispositions qu'il a réalisées, d'autres fois il s'est laissé guider par des considérations qui lui étaient propres et auxquelles il a attaché plus d'importance que ne l'ont fait d'autres constructeurs. Aussi remarque-t-on des différences considérables entre les différents types de machines qui existent sur les chemins de fer en exploitation. Cependant il n'est pas impossible de dégager quelques préceptes généraux de la masse des faits que nous avons sous les yeux ; quelques points de vue ont même donné lieu à des recherches qui ont jeté un grand jour sur des questions d'une importance capitale, entre autres sur les conditions de stabilité. Nous prenons la question telle qu'elle est, incomplétement étudiée, nous n'avons donc pas la prétention de la traiter à fond ; sur beaucoup de points nous ne ferons que la poser. Nous pensons néanmoins qu'en entrant résolûment dans les considérations de cette nature, nous rendrons un service, ne serait-ce

qu'en provoquant un nouvel examen et des études plus complètes. Nous commencerons par examiner les conditions générales auxquelles on doit satisfaire dans la construction d'une machine locomotive; nous examinerons ensuite les conditions de stabilité; nous donnerons un tableau général, aussi complet que possible, des dimensions réalisées dans un grand nombre de types, et, dans un dernier chapitre, nous tâcherons de résumer tous ces éléments en traitant la question du choix d'un système de machines. Ainsi que nous l'avons déjà dit, nous ne reculerons pas devant des répétitions qui auront pour résultat de nous faciliter l'exposition des sujets que nous avons à traiter.

CHAPITRE Ier.

Conditions générales de construction.

---

§ 1er. — Poids des machines et des tenders.

Le poids du matériel doit être aussi faible que possible; c'est un principe élémentaire qu'il suffit d'énoncer, car tout le monde sait que les résistances à vaincre par l'action de la vapeur sur les pistons consistent, pour la plus grande partie, en frottements qui croissent avec le poids, et que toutes les fois que le tracé présente des inclinaisons ascendantes ou des *rampes*, la gravité intervient pour augmenter la somme des résistances; c'est surtout sur les profils accidentés qu'un excès de poids des véhicules devient nuisible. Le poids des tenders doit être surtout allégé autant que possible; c'est pour cela qu'on s'est appliqué dans ces derniers temps, pour les courts trajets, à supprimer le tender comme véhicule spécial, en chargeant l'eau et le coke sur la machine même, et qu'on doit chercher à généraliser autant que possible cette combinaison.

Il importe d'avoir égard à la répartition du poids des machines; considérant l'ensemble de la machine, il importe que la plus grande partie de son poids soit supportée par les roues motrices pour l'adhérence, sur les roues d'avant pour la stabilité. Une machine lourde peut n'avoir qu'une charge modérée sur chacune de ses roues, une machine légère peut exercer une grande pression sur les rails si tout le poids repose sur quatre roues seulement.

Lorsqu'on examine les conditions générales d'établissement d'une machine, toutes les questions s'enchevêtrent et réagissent les unes sur les autres. Pour ce qui concerne le poids des machines, on est limité dans les réductions qu'il faut lui faire subir par la nécessité de satisfaire à certaines conditions essentielles; une machine ne peut avoir une grande puissance de traction et une grande vitesse qu'à la condition d'avoir une grande surface de chauffe et, par suite, une lourde chaudière, des cylindres d'une grande dimension dans lesquels la vapeur peut agir par détente, des supports très-solides, etc. Une machine dans laquelle on sacrifie la vitesse à la puissance de traction, doit avoir une grande adhérence, et il ne suffit pas toujours pour cela d'accoupler les roues, il peut être avantageux de ne pas descendre au-dessous d'un certain poids total, lors même que les nécessités de la construction le permettraient; le profil du chemin, le mode d'établissement de la voie de fer doivent être pris en grande considération, car la fréquence des rampes, leur forte déclivité peuvent conduire à négliger certains avantages de construction pour restreindre la résistance due à la gravité; la faible dimension des rails, l'écartement des traverses peuvent enfin imposer des limites pour la charge à faire porter sur les roues.

On ne saurait donc poser de règles absolues à cet égard. En consultant les faits réalisés jusqu'à ce jour, on peut admettre que des machines à voyageurs de 21 tonnes (y compris le poids de l'eau et du coke), montées sur six roues, ne portant sur l'essieu d'arrière ou sur celui du milieu, si les roues motrices sont à l'arrière, que 5 tonnes, chargées de 7 tonnes sur l'essieu d'avant et de 9 tonnes sur l'essieu moteur (y compris le poids des roues elles-mêmes), sont dans de bonnes conditions pour un chemin de fer dont les rails pè-

sent 37 à 38 kilog. par mètre courant, et sont portés par quatre traverses réparties sur une longueur de 4m 50. Pour le même chemin, des machines à marchandises, à quatre roues accouplées, peuvent peser 22 à 23 tonnes, et des machines à six roues accouplées 25 à 26 tonnes, si la charge est également répartie sur les deux essieux principaux dans le premier cas, si elle est répartie à peu près également dans le dernier cas. Il peut y avoir inconvénient à atteindre ces limites si le poids des rails n'excède pas 30 kilogrammes par mètre courant ; pour y remédier, au moins en partie, dans ce cas, on ajoute une cinquième traverse par rail. La dimension des rails et l'écartement des supports ne limitent pas seuls la charge des roues ; il faut également avoir égard aux bandages qui s'écrasent et se laminent sous un excès de charge.

Quoi qu'il en soit, le constructeur ne doit jamais perdre de vue que le poids des pièces doit être réduit à sa plus simple expression ; tout excès de poids dans la construction d'une pièce, lorsqu'il n'est pas justifié par un motif de solidité, d'augmentation de puissance ou d'économie de fabrication, est une faute. Lorsque le poids tend à devenir trop considérable, il peut y avoir lieu de sacrifier quelque chose sur ces conditions ; s'il est nécessaire d'atteindre une certaine limite de poids, au delà de ce que nécessite la construction elle-même, il faut l'obtenir en augmentant les dimensions de la chaudière, afin d'en profiter pour améliorer les conditions de vaporisation et d'économie du combustible, ou en augmentant la dimension des pièces dont le remplacement est le plus dispendieux et entraine les chômages les plus longs.

Les machines construites par M. Buddicom pour le chemin de fer de Rouen, qui peuvent être étudiées avec fruit dans la plupart de leurs détails, sont surtout remarquables pour leur légèreté, qui dépasse de beaucoup celle de la plupart des machines qui travaillent dans les mêmes conditions ; les machines du chemin de fer de Paris à Rouen ne pèsent vides que 14,000 kilog. ; celles du chemin de fer du Havre et de plusieurs autres chemins, qui ont été établies plus récemment par le même constructeur, ne dépassent pas 14,850 kilog.

Le poids des tenders doit surtout être réduit au strict nécessaire ; on peut prendre comme exemple le tender du chemin de fer de Rouen, dont le poids à vide n'excède pas 4 tonnes et qui peut recevoir 3500 litres d'eau et une tonne de coke. Lorsque la provision d'eau et de coke est portée par la machine, on peut donner à celle-ci un poids plus considérable que celui que nous avons indiqué, en augmentant la charge de ses roues d'avant et surtout celles des roues d'arrière. Une machine ainsi disposée, dont la charge serait répartie d'une manière à peu près uniforme sur les trois essieux et qui atteindrait, chargée d'eau et de coke, la limite de 25 tonnes, serait encore dans de bonnes conditions, puisqu'il en résulterait une réduction d'environ 10 tonnes sur le poids mort.

Nous avons déjà signalé l'ingénieuse disposition des machines de Verpilleux, dans lesquelles le poids du tender, comme celui de la machine, est utilisé en entier pour l'adhérence. Ce mode de construction doit fixer l'attention des ingénieurs qui ont à faire construire des machines pour gravir, avec de fortes charges, des rampes d'une déclivité très-prononcée.

§ 2. — Entretien et durée.

Dans la construction des machines locomotives, à un degré plus prononcé peut-être que dans beaucoup d'autres machines, il importe d'arriver à une grande simplicité de formes et à une grande solidité, autant que le permettent les autres conditions à remplir, et notamment la nécessité de ne pas dépasser certaines limites de poids. Si l'on tient compte du prix d'achat des machines et du loyer des capitaux nécessaires pour leur premier établissement, on reconnait qu'il ne suffit pas, par la simplicité des dispositions, d'obtenir la plus grande économie dans les dépenses de réparation, qu'il faut, par leur solidité et par la facilité des réparations, arriver à maintenir les machines en état de service pendant un temps aussi long que possible, qu'il faut en outre obtenir dans un temps donné le service le plus actif possible. En effet, une machine sans son tender coûte environ 50,000 fr. ; elle fait au maximum et en moyenne 20,000 kilomètres par an, et peut fournir un parcours

total de 300,000 kilomètres au maximum; lorsqu'elle est arrivée à ce terme, on peut admettre qu'il est nécessaire, soit par suite de son degré d'usure, soit parce qu'elle a cessé d'être appropriée aux besoins du service, de la remplacer ou de la reconstruire à neuf, ce qui revient à peu près au même; ce cas échéant, on peut également admettre qu'il est nécessaire de lui appliquer dans l'une ou l'autre supposition une dépense d'environ 30,000 fr., déduction faite de la valeur des vieux matériaux vendus ou rentrant dans la construction nouvelle. Bien qu'on manque encore de données certaines sur la durée des machines, on remarque cependant qu'un certain nombre de machines anciennes ont été mises hors de service ou sont devenues insuffisantes comme vitesse et comme puissance de traction, après des parcours d'environ 200,000 kilomètres; on peut donc raisonnablement admettre que les machines construites depuis cinq ou six années fourniront un parcours total de 50 p. 0/0 supérieur, jusqu'au moment où il sera opportun de les remplacer ou de les refaire à neuf. L'intérêt à 4 p. 0/0 du prix d'achat des machines représente donc une dépense annuelle de 2,000 fr. par machine,

soit de.................	0 fr.	10 c.	par kilomètre parcouru;
les frais de renouvellement.	0	10	d°
les frais d'entretien et de réparation.................	0	30	d°
Soit en total......	0 fr.	50 c.	

ou pour un chemin de fer comme celui du Nord, dont le parcours annuel dépasse 3,000,000 de kilomètres, une somme totale supérieure à 1,500,000 fr. par an. Si l'on peut, par la bonne construction et la solidité des machines, par la bonne disposition des pièces, arriver à leur faire fournir un service annuel plus considérable, à les faire durer plus longtemps et à rendre les réparations moins coûteuses, on réalisera un bénéfice considérable; si l'on arrivait, par exemple, à augmenter de 1/5 le service annuel et le parcours total, et à réduire de 1/5 la dépense d'entretien, ce serait une économie réelle de 300,000 fr., ou, pour le capital qui représente le prix d'achat des machines seules, que l'on peut évaluer

à 10,000,000 fr., 3 2/3 p. 0/0. Ce rapport exprime l'augmentation de bénéfice qu'obtiendrait un entrepreneur de traction fournissant le matériel à la Compagnie moyennant un prix fixé à forfait pour chaque kilomètre parcouru.

Nous avons insisté sur cette question en cherchant à la préciser par des chiffres résultant à la vérité d'hypothèses, mais qui ne peuvent pas différer très-notablement de la vérité, parce qu'on ne se rend pas toujours un compte suffisamment exact de son importance; lorsqu'il s'agit de commander des machines, on discute avant tout sur le prix; le choix d'un constructeur ou d'un système de machines repose généralement sur des différences de prix qui n'ont aucune espèce d'intérêt à côté des conséquences que peut entraîner une mauvaise disposition, une construction peu soignée ou l'emploi de matériaux de médiocre qualité. Cette importance nous paraît assez grande pour que nous entrions à ce sujet dans de plus grands développements, en discutant chacun des éléments qu'il faut prendre en considération.

1° Choix des matériaux de construction. — Les matériaux employés dans la construction des machines sont le fer, la fonte, le cuivre, le bronze, le laiton et l'acier; le bois et diverses autres matières n'y figurent qu'accessoirement. Le tableau suivant, extrait du travail de MM. Valerio et de Brouville sur la machine à voyageurs du chemin de fer du Nord, indique la répartition en poids de ces diverses matières, déchets non compris.

NATURE DES MATÉRIAUX.	CHASSIS ET SUPPORTS.	MÉCANISME.	CHAUDIÈRE.	TOTAL.
	k.	k.	k.	k.
Fonte	1,237,0	2,434,0	42,0	3,713,0
Fer forgé	4,769,9	974,7	1,625,4	7,370,0
Tôle	1,322,5	»	2,995,8	4,318,3
Acier	440,0	150,5	15,1	605,6
Cuivre rouge	»	124,0	786,8	910,8
Laiton	6,0	3,6	1,437,5	1,447,1
Bronze	81,6	405,6	258,6	745,7
Bois et divers	335,5	17,5	138,5	491,5
TOTAUX	8,192,5	4,109,9	7,299,7	19,602,1

Au moyen de ce tableau on peut se rendre compte approximati-

vement de l'influence que peuvent avoir sur le prix de revient d'une machine, les sacrifices que l'on ferait pour substituer à des matériaux de qualité moyenne, des matériaux de première qualité. Des métaux de premier choix se travaillent mieux et plus facilement que des métaux de qualité inférieure, ils donnent lieu à des déchets moindres et d'une plus grande valeur vénale, les débris de pièces brisées ou usées ont également un prix supérieur lorsqu'on les revend ; de plus, avec de bons matériaux, on peut arriver à une réduction de poids susceptible de compenser l'augmentation de prix ; nous n'en tiendrons pas cependant compte, nous n'aurons égard qu'à la différence du prix d'achat des matières premières, du fer et de la tôle sortant de la forge, de la fonte et du bronze sortant de la fonderie, du cuivre et du laiton sortant du laminoir. Le tableau ci-après, établi sur ces bases, donne en regard le prix des matières de qualité moyenne qui peuvent être employées dans la construction des machines, et qui ne peuvent pas, à raison de la qualité même, être une cause de refus, à moins de stipulations contraires dans les traités : la plus-value des matières de premier choix et le produit de cette plus-value appliqués aux poids du tableau précédent ; les prix élémentaires et les augmentations correspondantes sont des moyennes fixées approximativement, dont on pourra contester dans une certaine limite la quotité, mais qui ne peuvent pas donner lieu à des rectifications susceptibles de modifier la conséquence que nous tirerons de notre calcul.

NATURE des matériaux.	PRIX du kilogramme (qualité moyenne.)	PLUS-VALUE du kilogramme (première qualité.)	PRODUIT de la plus-value (1).
	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Fonte............	0 38	0 10	371 30
Fer forgé........	0 45	0 10	737 00
Tôle.............	0 58	0 12	518 19
Acier............	1 15	0 30	181 50
Cuivre rouge....	2 70	0 25	227 70
Laiton...........	2 55	0 20	289 40
Bronze...........	2 45	0 15	111 75
		Total..............	2,436 84

(1) Ce produit doit être augmenté dans la proportion du déchet.

Si l'on tient compte des prix actuels, des conditions imposées aux constructeurs par les cahiers de charges habituels et de ce qui a lieu en réalité, cette plus-value est supérieure à ce qu'il serait équitable de leur allouer pour exiger avec la rigueur la plus absolue que tous les métaux employés fussent de première qualité; les constructeurs accepteraient un supplément de prix bien inférieur pour laisser en échange à l'administration du chemin de fer le droit d'éprouver et de *recevoir* les matières premières, à leur entrée dans la fabrique de machines, et pour exercer ce droit dans toute sa latitude; or, par le fait d'une altération et d'une usure moins rapides des métaux, par l'absence des mille sortes d'accidents, qui donnent tant d'irrégularité au service des machines construites avec des métaux de qualité inférieure, on réaliserait un avantage incontestable, cette somme ne représentant qu'une fraction peu importante des frais annuels d'entretien et de l'intérêt du capital compté sur le temps de service de la machine, et devant se trouver très-promptement couverte par l'économie des frais d'exploitation.

Ces considérations prouvent à l'évidence combien il importe de n'admettre dans la construction des machines locomotives que des matières de première qualité, et de faire au besoin les sacrifices nécessaires pour arriver à ce résultat. On ne doit pas en tirer la conséquence, qu'une administration de chemin de fer doit dans tous les cas construire ses machines, comme on pourrait être tenté de le faire, en faisant fléchir ses raisons qui s'opposent en général à l'adoption de ce système; on doit en conclure seulement qu'il faut, pour la réparation dans les ateliers des chemins de fer, comme pour la construction, n'admettre que des matières premières de qualité tout à fait supérieure, et ne pas se laisser séduire par des motifs d'économie mal entendue.

2° Soins apportés a la construction. — On ne doit pas se montrer moins difficile pour la perfection de l'ajustage et du montage de toutes les pièces d'une machine, que pour le choix des matériaux. Les prix actuellement payés aux constructeurs com-

portent des exigences rigoureuses de la part de l'acheteur. Bien qu'on stipule dans les marchés des garanties pour la réparation, et, au besoin, pour le remplacement de toutes les pièces défectueuses, bien que ces garanties s'étendent à un parcours de 4 à 5,000 kilomètres, une machine d'un montage défectueux conservera toujours une partie de ses défauts et ne fera qu'un mauvais service jusqu'au moment où elle subira une réparation équivalant à une reconstruction.

Il est essentiel avant tout que la chaudière et le foyer soient bien étanches : des fuites d'eau à l'intérieur du foyer nuisent à la combustion; des fuites d'eau ou de vapeur sur l'enveloppe extérieure peuvent, au bout de peu de temps, devenir nuisibles à la marche, mais elles sont surtout désastreuses pour la conservation des chaudières, dont le métal s'altère par l'action de la rouille. Les tubes doivent être mis en place avec le plus grand soin. Les viroles doivent être chassées et mandrinées également, avec un soin tout particulier. Lorsqu'un joint de tube vient à fuir en service, il peut arriver que la réparation tombe entre les mains d'un ouvrier peu adroit, qui, en cherchant à consolider cet assemblage, pourrait affaiblir tous les autres ; de même, un mécanicien qui voudrait, en marche, et lorsque la machine est allumée, rechasser une virole, pourrait faire lâcher celles qui l'environnent et mettre la machine hors de service. On ne doit donc, dans aucun cas, négliger la pose des viroles, en comptant sur la facilité des réparations en cas de fuite.

Les pièces du mécanisme doivent être ajustées avec une précision mathématique ; le montage doit être fait avec une rigueur absolue. Dans une machine qui travaille à des vitesses considérables, qui effectue un travail considérable en peu de temps, et sans qu'une visite attentive des pièces puisse être faite dans l'intervalle des temps d'arrêt et de stationnement, l'usure et la dégradation des pièces, une fois commencée, marche avec une extrême rapidité et peut occasionner des ruptures avant qu'il ait été possible de remédier au mal. Cette observation s'applique en particulier aux pistons qui ne peuvent être démontés que lorsque la machine est

sortie du service, et qui surtout ne peuvent pas être visités, même sommairement, dans le cours d'un trajet; des écrous se desserrent, et les plateaux ou de simples boulons se détachent et occasionnent la rupture du cylindre; les parois du cylindre se rayent et finissent par se canneler si le montage des pistons n'a pas été fait avec le plus grand soin, si l'ajustage de ses éléments n'est pas assez soigné. Des ruptures de tiges de pistons et de tiroirs, de bielles, de barres et de colliers d'excentriques, n'ont souvent d'autre cause qu'un défaut de parallélisme, des défauts de coïncidence entre l'axe de la pièce et celui de ses guides, etc.; il en résulte des flexions indéfiniment répétées ou des vibrations qui finissent par la rupture des pièces. Par les mêmes raisons, il est nécessaire de donner aux pièces qui transmettent des efforts, alternativement en tirant et en poussant, une section et une rigidité suffisantes pour empêcher des flexions qui, trop prononcées et incessamment répétées, pourraient également occasionner des avaries.

Le montage du châssis et des supports nécessite également la plus grande attention. Lorsque les essieux ne sont pas exactement parallèles entre eux, lorsque les roues ne sont pas, de chaque côté, dans un même plan parallèle à la voie, lorsque les roues d'un même essieu ou de plusieurs essieux accouplés ne sont pas exactement de même diamètre; lorsque les roues ne sont pas rondes ou sont mal centrées, en ligne droite comme dans les courbes, il y a des glissements, qui déterminent une usure inégale et rapide des bandages, soit à la jante, soit au boudin. Comme ce glissement ne peut pas avoir lieu sans effort, il en résulte une fatigue inévitable pour le châssis, qui peut être déformé; une usure plus rapide des coussinets de boite à graisse, etc., sans parler des mouvements oscillatoires que prend la machine sur la voie, des chances d'accidents ou d'avaries, et de la déperdition de travail utile qui en sont la conséquence.

Les ressorts eux-mêmes doivent être montés avec précision, de telle sorte que les deux roues d'un même essieu soient également chargées. Si la charge, d'un côté à l'autre, présentait des inégalités très-sensibles, l'une des roues tendrait à descendre sur le rail, en

glissant sur une arête du tronc de cône qui forme la jante, la roue la moins chargée remontant sur l'autre rail d'une égale quantité. Les roues tendraient à rouler sur des circonférences de rayons inégaux, comme si elles n'étaient pas égales, et s'useraient inégalement. Les ressorts doivent, en outre, avoir une égale flexibilité, pour que les oscillations qui tendent à se produire ne soient pas, au delà de ce qui est inhérent à l'irrégularité de pose des voies, une nouvelle cause de déformation et de fatigue pour le châssis et d'usure pour les roues.

Nous n'insistons pas plus longtemps sur ce sujet; les exemples que nous avons indiqués établissent suffisamment la nécessité d'une grande attention et de grands soins dans la fabrication; nos ateliers de construction de machines locomotives, sous l'action salutaire des ingénieurs préposés à la direction de l'exploitation des chemins de fer, ont contracté des habitudes de précision telles, qu'une machine quelconque, sortant des mains de l'ouvrier, peut être mise en service, accomplir de longs trajets, sans qu'aucune pièce chauffe ou éprouve des avaries. A ce point de vue, nous ne pensons pas que nos constructeurs le cèdent en rien à ceux des autres pays.

Les développements qui précèdent montreraient en outre, si cela n'était pas évident de soi-même, quelle différence il peut y avoir entre deux machines de même type pour la régularité du service et l'économie des frais d'entretien, selon que la construction a été bien ou mal soignée.

3° Rigidité du chassis. — Nous avons insisté sur la nécessité d'un montage très-perfectionné; pour ne pas perdre en partie le bénéfice des sacrifices qui ont été faits dans ce but, il est nécessaire que le châssis soit très-solidement établi et qu'il ne puisse pas se déformer. En effet, les cylindres et les glissières sont attachés au châssis, et par conséquent, les extrémités antérieures des bielles et des barres d'excentriques sont solidaires avec lui, tandis que les extrémités opposées de ces pièces sont liées avec l'essieu moteur, lequel n'est rattaché au châssis que par l'intermédiaire des boîtes à graisse et des ressorts. Si le châssis est trop léger ou mal as-

semblé et qu'il se déforme, soit momentanément, au passage des courbes, soit périodiquement, dans le mouvement oscillatoire que prend la machine sous l'action de causes diverses, soit d'une manière permanente, par suite du gauchissement des pièces qui le constituent, les axes peuvent cesser de coïncider, le parallélisme peut être détruit, et les choses se passent exactement comme si la machine avait été mal montée dès l'origine.

Pour que le châssis puisse conserver sa forme, il ne suffit pas que ses longerons aient des dimensions suffisantes, il faut qu'ils ne puissent pas se courber dans le sens de la longueur, ou s'allonger de quantités inégales ; il faut, en outre, qu'ils restent exactement parallèles entre eux et à l'axe de la machine. Pour satisfaire à la première condition, il faut rendre le châssis indépendant des effets de la dilatation de la chaudière. Nous avons vu que pour cela, après avoir attaché la boîte à fumée au châssis, on terminait les supports intermédiaires de la chaudière, et surtout ceux de la boîte à feu, par des patins susceptibles de glisser longitudinalement sur les longerons, tout en leur restant invariablement attachés dans le sens transversal. Pour satisfaire à la seconde condition, il faut rendre le châssis insensible à la réaction de la voie sur les roues, au passage des courbes ou dans les parties rectilignes mal dressées, le soustraire à l'influence des mouvements oscillatoires que peut prendre la machine, et enfin aux actions et réactions inégales et inégalement distribuées des pistons sur l'essieu moteur. Il faut pour cela qu'entre l'essieu moteur et les cylindres, les longerons aient par eux-mêmes une grande rigidité résultant de leurs dimensions propres, il faut surtout qu'ils soient très-solidement entretoisés d'un côté à l'autre de la machine ; la chaudière, qui, par sa forme et ses dimensions, possède elle-même une grande rigidité, est le lien naturel et le meilleur entre les longerons, auxquels elle se rattache par les supports, et ceux-ci sont plutôt des moyens intermédiaires d'attache entre les longerons, que des supports proprement dits, les attaches de la boîte à fumée et de la boîte à feu, au châssis, suffisant, à la rigueur, pour supporter les chaudières les plus longues. Lorsque les cylindres

sont intérieurs, ils deviennent eux-mêmes un lien entre les deux longerons; il en est de même pour les supports des glissières. Lorsque la machine est à cylindres extérieurs et que les longerons sont sensiblement plus bas que la chaudière, il peut devenir utile de les relier directement par des traverses. La liaison des deux parties latérales du châssis est plus facile lorsque celui-ci est intérieur que lorsqu'il est extérieur; mais, dans ce dernier cas, on peut donner aux deux longerons une grande solidité, en les formant de deux feuilles de tôle, entre lesquelles se trouve intercalé un madrier en bois; de telle sorte qu'il serait difficile à ce point de vue de dire quel système serait préférable à l'autre.

L'essieu moteur doit rester exactement perpendiculaire aux longerons et ne doit subir aucun déplacement dans le sens de sa longueur, ce qui aurait pour résultat de briser les lignes d'axes; il faut donc éviter avec soin de donner à ses fusées du jeu dans les boîtes à graisse, et de laisser prendre à celles-ci trop de jeu dans les plaques de garde. En outre, il convient que les plaques de garde des roues motrices soient courtes et très-rigides, tandis que les plaques de garde des roues d'avant peuvent être longues et flexibles, pour faciliter le déplacement de l'essieu au passage des courbes ou sous l'action des inégalités de la voie. Il existe une cause de dégradation du mécanisme qui ne peut être atténuée que par un entretien très-soigné de la voie; lorsque la ligne des rails est ondulée dans le sens vertical, inégalement pour chaque côté de la voie, l'essieu moteur se déplace dans le sens vertical, s'incline tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, sous l'action de son propre poids et des ressorts qui maintiennent les roues constamment appliquées sur les rails, quelle que soit leur déflexion; en d'autres termes, les trois essieux peuvent prendre des inclinaisons diverses par rapport au plan du châssis auquel ils sont perpendiculaires dans le montage; les manivelles et les excentriques éprouvent des mouvements auxquels ne participent pas les glissières, les coquilles de piston et les guides des tiges des tiroirs; il en résulte nécessairement des torsions des bielles et des barres d'excentriques, et des frottements anormaux des

grosses têtes de bielle sur les manivelles, et des colliers d'excentriques sur les disques qui les supportent. Il convient par suite de ne pas donner aux ressorts une trop grande élasticité, pour que l'amplitude des déplacements que le châssis peut éprouver ne s'accroisse pas dans des limites trop étendues; mais ce qu'il faut surtout, ainsi que nous l'avons dit, c'est une voie bien entretenue et bien dressée.

Comme exemples de châssis établis dans de très-bonnes conditions, nous citerons, d'une manière générale, ceux qui, dans les machines à cylindres extérieurs ou intérieurs des chemins de fer construits dans ces dernières années, ont été établis de manière à ne faire participer le mécanisme à aucun des effets ou des déplacements qui résultent de la dilatation de la chaudière. En principe, ces châssis permettraient le montage complet du mécanisme indépendamment de la chaudière. Cependant, dans la machine du système Buddicom, l'essieu moteur est fixé sur les longerons intérieurs, qui portent également le mécanisme de la distribution. Cette disposition soumet, il est vrai, cet essieu aux influences de la dilatation; mais les chaudières étant courtes, le déplacement de l'essieu qui en peut résulter est très-faible, il n'affecte pas sensiblement la ligne d'axe. Les boites à graisse étant isolées du châssis extérieur auquel sont en partie attachés les cylindres, il ne se produit pas le gauchissement et la torsion qui résultent ordinairement de la dilatation inégale des longueurs. Ce système est donc encore excellent. Ce qui est mauvais, c'est la liaison entre la chaudière et le châssis, par des attaches excessivement rigides, rendant le mouvement longitudinal de l'un dépendant de l'autre. Les différences de dilatation amènent toujours des disjonctions du système, dont les effets sont de déranger les lignes de montage, de produire des jeux et des chocs dans le mécanisme, de dérégler la machine et de la mettre en désarroi.

4° Surfaces de frottement. — Le choix des matières employées pour former les pièces soumises au frottement, exige une attention spéciale. Nous avons donné à ce sujet diverses indications

sur lesquelles nous ne reviendrons pas; nous insisterons seulement sur la nécessité de donner aux surfaces frottantes une étendue proportionnée à la pression qu'elles ont à supporter. Au delà de certaines limites, la pression devient trop forte pour que l'huile et les matières lubréfiantes puissent pénétrer entre les surfaces ou y rester adhérentes; elles sont comme exprimées. Lorsqu'on commet la faute d'approcher de ces limites, les pièces s'échauffent, surtout lorsqu'elles sont animées d'une grande vitesse, elles grippent et s'altèrent profondément; des réparations sont à chaque instant nécessaires; c'est ce qui a lieu en particulier pour les fusées d'essieux de machine ou de tender, lorsqu'on n'a pas suffisamment proportionné le diamètre et la longueur des fusées avec la charge que doivent supporter les roues. Dans ces derniers temps, on s'est appliqué avec soin à satisfaire à cette condition, et on a augmenté dans une large proportion la longueur et le diamètre des fusées d'essieux. On ne doit pas faire supporter aux surfaces de contact effectif une pression qui excède 25 kilog. par centimètre carré; il convient même de descendre au-dessous de cette limite pour les machines à grande vitesse.

Les pièces frottantes sont, d'une part, les segments de piston et les cylindres, les coquilles de piston et les glissières, les tiroirs et leur siége, les tiges de piston et de tiroir et leurs presse-étoupes, les coulisseaux et les coulisses, les excentriques et leurs colliers, les manivelles et les grosses têtes de bielles, les plongeurs de pompe et leurs presses-étoupe, les fusées d'essieu et les coussinets de boites à graisse, etc.; de l'autre côté, les articulations de toute nature. Dans le premier cas, les déplacements relatifs des pièces ont une étendue plus ou moins considérable, mais toujours très-appréciable, et les frottements donnent lieu à un travail résistant que l'on ne saurait négliger; il faut donc tout disposer pour rendre le graissage facile, pour maintenir son action pendant un temps assez long afin que de longs parcours puissent être effectués entre deux graissages, et en même temps afin d'éviter, autant que possible, les pertes d'huile et de graisse, si l'on veut non-seulement éviter la prompte usure des pièces frottantes, mais encore maintenir

disponible la plus grande somme possible du travail moteur que produit la vapeur en agissant sur les pistons. Dans le second cas, lorsqu'il s'agit seulement d'articulations, les déplacements relatifs sont très-faibles et ne peuvent absorber qu'une très-petite partie du travail utile, il faut encore combiner des moyens de graissage, mais ils sont plus simples et n'exigent pas une attention aussi soutenue; ils ont pour objet d'éviter l'usure des appareils, qui, généralement, n'ont pas de pièces mobiles et faciles à remplacer, comme les segments de piston, les patins des coquilles de piston, les garnitures de presse-étoupes, etc. Cette nécessité d'un graissage permanent a donné lieu à diverses dispositions de détail que nous avons indiquées en décrivant la machine locomotive. Nous n'y reviendrons pas, mais nous appellerons d'une manière toute spéciale l'attention des constructeurs sur ces points, qui peuvent paraître très-accessoires, mais qui ont cependant une importance capitale. Les dispositions adoptées sont en général suffisantes; cependant, le graissage des tiroirs et des pistons laisse beaucoup à désirer. L'imperfection des moyens employés se fera surtout sentir lorsqu'on arrivera à employer de la vapeur plus sèche qu'on ne l'a fait jusqu'à présent.

Dans l'état actuel des choses, on graisse les pistons et les tiroirs avant le départ, en versant, par un robinet ou par un bouchon, une certaine quantité d'huile ou de suif qui se rassemble à la partie inférieure du cylindre ou de la boîte de tiroir, et qui flotte à la surface de l'eau de condensation qui s'y trouve généralement déposée; dans tous les cas, après quelques coups de piston, la matière lubréfiante a disparu. Il y aurait un avantage incontestable à maintenir constamment grasses les surfaces de frottement du tiroir et du piston. La solution du problème est difficile, mais c'est par cela même qu'elle mérite de fixer toute l'attention des constructeurs. On peut dire avec une certitude presque complète que, jusqu'ici, les organes ne sont graissés que par l'eau qui est amenée par la vapeur dans les cylindres ou qui s'y condense.

Une dernière précaution reste à signaler : c'est la nécessité de prévenir, autant que possible, l'introduction du sable fin entre les parties frottantes. Les mèches des godets graisseurs ne servent pas

seulement à entretenir un écoulement très-lent, elles ont encore pour utilité d'empêcher l'entraînement, par l'huile, du sable fin qui s'introduit dans les réservoirs; aussi convient-il, par surcroît de précaution, de fermer ceux-ci par des couvercles, toutes les fois que le mécanicien peut les atteindre avec la main et les manœuvrer sans une trop grande perte de temps. Les pièces extérieures, comme les glissières, par exemple, ne peuvent pas être préservées de l'action du sable; aussi, est-ce là une des causes principales de leur rapide usure. On y remédie, autant que possible, en évitant de laisser du jeu entre elles et les patins de la coquille. Pour les tiges de piston et de tiroir, on peut mettre à l'entrée du presse-étoupes un paquet de filasse qui les essuie avant leur entrée dans la garniture, et qui peut en même temps servir de réservoir à l'huile, en formant éponge.

Lorsque l'on remorque un train avec deux machines, la seconde souffre plus que la première, de la poussière, qui n'est généralement soulevée qu'au moment du passage de la machine, et qui atteint moins les pièces de mécanisme situées à l'avant de la première machine que celles de la seconde. L'action destructive de la poussière de sable fin sur les organes des machines a une importance telle, qu'on doit s'en préoccuper sérieusement dans la construction des chemins de fer. On ne doit, autant que possible, employer que du gravier lourd, un peu argileux, qui se tasse facilement, sans cesser d'être perméable à l'eau, et qui ne donne que peu de poussière. Lorsqu'on ne peut avoir que du sable fin, il y a tout avantage à employer de la pierre cassée ou de la craie dure pour former le ballast.

5° Simplicité du mécanisme. — Une des conditions essentielles pour assurer l'économie des frais d'entretien d'une machine, est la simplicité des organes mécaniques. Avantageuse au constructeur, qui a une moindre dépense de façon à supporter, elle l'est également à l'exploitant, qui fait plus rapidement et à moins de frais les réparations. On peut citer comme un modèle dans ce genre la machine à voyageurs du chemin de fer de Rouen. M. Buddicom,

à la fois constructeur et entrepreneur du service de locomotion, et la Compagnie, qui lui a accordé sa confiance, peuvent se féliciter à juste titre du choix qui a été fait de ces machines à l'époque de la construction du chemin de fer; elles répondent parfaitement aux conditions spéciales de l'exploitation. C'est incontestablement l'économie des frais d'entretien des machines et des tenders qui a permis, pour une part importante, d'établir un prix modéré pour la traction.

C'est également, en grande partie, pour rentrer, autant que possible, dans ces conditions, qu'on a dû renoncer, presque partout, à l'emploi de la détente variable à plusieurs tiroirs superposés, malgré les avantages qu'on pouvait en attendre pour l'économie du combustible.

En se plaçant à ce point de vue, on est conduit à donner aux constructeurs, dans la conception des plans qui doivent servir de base à la construction des machines, une part plus large qu'on ne l'a fait généralement en France. L'intervention de leur intérêt, contrôlé avec soin, pour qu'il ne les entraîne pas au delà de certaines limites où l'abus commencerait, est utile pour amener les machines à leur degré de simplicité le plus complet. Cet intérêt se lie d'une manière intime avec celui de l'exploitant, car généralement une machine facile et avantageuse à construire présentera les mêmes facilités et les mêmes avantages pour les réparations et l'entretien.

6° Jeu des pièces du mécanisme. — Nous avons exprimé notre opinion sur la nécessité d'une grande perfection dans la construction des machines; nous insisterons en outre sur la nécessité de ne chercher qu'avec une grande réserve à faciliter les mouvements des pièces, en leur donnant une certaine liberté, un certain *jeu*. Dans une machine locomotive, les efforts et toutes les résistances, si l'on en excepte la réaction des rails sur les roues au passage des courbes et dans les parties droites mal réglées, ou bien enfin lorsque la machine est soumise à des actions perturbatrices que nous étudierons plus tard, s'exercent parallèlement à l'axe de la voie. Il importe de ne donner dans ce sens aucun jeu aux pièces du

mécanisme, car les efforts qu'elles ont à supporter changent de sens à chaque révolution des roues motrices. Le moindre jeu dans les articulations donne lieu à des chocs d'autant plus destructeurs que les efforts sont plus considérables et la vitesse plus grande ; les pièces s'usent avec une extrême rapidité, et des réparations importantes deviennent promptement nécessaires. Ce qui peut être dit de la construction s'applique à plus forte raison à l'entretien. Lorsque le jeu devient un peu fort, il est nécessaire de le faire disparaître, et pour cela, il convient de préparer à l'avance, pour certaines pièces, des moyens de serrage, de ménager, pour d'autres, la possibilité de rapporter des épaisseurs, etc. Quelques constructeurs, pour faciliter le passage des machines à roues accouplées dans les courbes, laissent un peu de jeu dans les coussinets des bielles d'accouplement ; c'est quelquefois un mal nécessaire, mais il vaut mieux arriver à ce résultat en employant des bielles plates, placées de champ, qui se prêtent, par leur flexibilité, aux déviations momentanées des essieux, lorsqu'il est nécessaire de les faciliter pour le passage des courbes et dans les changements de voie.

Le jeu des pièces du mécanisme n'a pas le même inconvénient, lorsqu'il a lieu dans un sens perpendiculaire à l'axe de la machine ; le mode de liaison du châssis avec les boites à graisse et les essieux en est un exemple frappant. Nous en avons donné un autre exemple en indiquant le mode spécial d'emmanchement des tiges de tiroir avec leurs guides carrés, au moyen d'un étrier. On peut donner une certaine liberté latérale aux articulations cylindriques, pour faciliter la rectification spontanée de quelques irrégularités de montage, ou pour remédier à l'influence de quelques déformations momentanées du châssis ; on peut permettre un certain déplacement longitudinal des boites à graisse sur les fusées des essieux ; on pourrait même, à la rigueur, essayer de combiner quelques articulations sphériques, comme on le fait dans les machines fixes, si cette disposition n'était pas mauvaise par elle-même ; mais, nous ne saurions trop le répéter, on doit éviter avec soin, dans le sens de l'axe de la machine, toute espèce de jeu qui donnerait lieu, à chaque tour de roue, à un double choc en avant

et en arrière, quelque modification que puissent apporter aux observations qui viennent d'être présentées les conditions spéciales de la transformation du mouvement rectiligne alternatif en mouvement circulaire.

7° Stabilité. — La stabilité des machines, que nous étudierons dans un chapitre spécial, intéresse elle-même à un très-haut degré la conservation des machines ; les inégalités de la voie, ou les inégalités de mouvement inhérentes au mode de construction et au degré d'entretien de la machine, les actions perturbatrices intérieures qui se développent dans le mouvement de ses organes, ont toutes pour résultat d'occasionner des chocs, des tiraillements ou des efforts intérieurs, qui sont une cause capitale d'usure des pièces et de dislocation des assemblages. Il faut donc, au point de vue qui nous occupe actuellement, assurer par tous les moyens possibles la stabilité des machines en mouvement. C'est, du reste, un point sur lequel nous reviendrons avec insistance.

§ 3. — Économie du combustible.

La question qui fait l'objet de ce paragraphe a une importance capitale pour l'économie générale des frais de traction, car la consommation du combustible entre dans la totalité de ces frais pour un tiers environ, ou même pour moitié sur les chemins à grand trafic ou à profil accidenté, lorsqu'en même temps le coke est grevé de frais de transports considérables. La première condition à remplir est la bonne qualité du combustible ; son pouvoir calorifique est d'autant plus grand qu'il est plus pur, mais en même temps sa pureté réagit de la manière la plus saillante sur la célérité, l'exactitude et l'économie générale des frais d'exploitation. Nous insisterons spécialement sur ce point, avant d'indiquer les autres conditions auxquelles on doit tâcher de satisfaire pour arriver au meilleur résultat possible.

1° Choix du combustible. — On doit avant tout, lorsqu'on prépare l'organisation d'un service de chemin de fer, étudier avec soin

les produits des houillères qui devront fournir le combustible nécessaire à la consommation des machines locomotives. La nature même de ce combustible, son degré plus ou moins grand de pureté doivent être pris en considération, lorsqu'on arrête le choix du matériel; en effet, un combustible très-dense et très-pur pourra donner d'excellents résultats dans les foyers d'une dimension restreinte, tandis qu'un combustible léger ou très-impur ne pourra produire une évaporation active que si l'on donne aux foyers une plus grande capacité, une profondeur moindre et des tubes d'un plus grand diamètre, etc. On arrive généralement aujourd'hui à préparer du coke de bonne qualité, en apportant plus de soin à la fabrication; et c'est même parce qu'on n'a pas toujours eu suffisamment égard aux observations qui précèdent, parce qu'on a importé d'Angleterre, sans en modifier les foyers, des machines faites pour consommer du coke excellent, et qui n'ont fait qu'un mauvais service lorsqu'on les a appliquées aux chemins de fer qui n'étaient approvisionnés que de combustibles médiocres, que ce progrès a été réalisé; cependant, quoique la question ait perdu de son importance, les constructeurs ou les ingénieurs qui construisent les machines ne doivent pas négliger cet examen préalable.

Les seuls combustibles dont nous ayons à nous occuper, ainsi que nous l'avons déjà dit, sont la *houille* en nature, et la houille carbonisée ou le *coke*.

La houille en nature peut être employée dans quelques circonstances, plus particulièrement sur les chemins de fer qui desservent les mines de houille, lorsque ce combustible a des qualités spéciales qui dispensent de le carboniser. Elle doit avant tout être en morceaux, ne pas se réduire au feu en petits fragments qui, d'un côté, obstruent la grille et gênent le passage de l'air, qui, de l'autre côté, sont entraînés dans les tubes qu'ils bouchent et dans la boîte à fumée où ils peuvent prendre feu et occasionner des dégradations; elle doit être assez maigre pour ne pas s'agglutiner et se prendre en masse sur la grille, car le tirage deviendrait promptement impossible; elle doit enfin être exempte de pyrites que la chaleur

décompose et qui abandonnent du soufre essentiellement nuisible à la conservation des foyers.

Ces diverses conditions sont assez difficiles à remplir; aussi ne trouve-t-on, en France surtout, qu'un petit nombre de cas où l'on fasse usage de la houille en nature. L'exemple le plus remarquable à l'étranger est celui de la Pensylvanie, où les anthracites du Shuickill ont des propriétés tout à fait particulières; ce combustible naturellement très-pur ne renferme pas de matières bitumineuses, il est extrêmement solide et ne peut être réduit en fragments que sous l'action du marteau, et en même temps il conserve sa forme au feu, sans décrépiter; il est difficile à allumer, mais lorsqu'il est arrivé à l'incandescence, il brûle très-bien, et, si ce n'est un degré d'intensité supérieur pour la chaleur produite, il donne un feu analogue à celui du charbon de bois.

La France et la Belgique possèdent des gisements d'anthracite très-pure et qui serait très-propre à l'usage des locomotives, si elle n'était pas friable et décrépitante, à Lamure (Isère), Fresnes et Vicoigne (Nord), Ham-sur-Sambre, et dans toutes les houillères du Sud entre Charleroi et Namur. On est arrivé à faire, avec les résidus de houille grasse, du gros charbon ou pérat artificiel; il y a lieu d'espérer qu'avec les anthracites même, dont nous venons de parler, on obtiendra, si l'on veut s'en donner la peine, un combustible très-pur et peu coûteux approprié à l'usage des machines locomotives. Le lavage de la houille, qui a fait en quelque sorte une révolution dans le service de la locomotion, comme nous le verrons plus loin, est resté longtemps sans application directe aux chemins de fer, quelqu'évidents que fussent ses avantages. On peut raisonnablement espérer qu'un jour ou l'autre le cercle dans lequel on s'est maintenu pour le choix du combustible s'élargira; il suffira peut-être pour cela que les ingénieurs préposés à la direction de nos chemins de fer secouent momentanément les préoccupations d'un service écrasant de détails et de soins de toute nature, pour que l'emploi des houilles anthraciteuses et menues passe dans la pratique, pour les usages auxquels on a appliqué exclusivement la houille grasse carbonisée.

La houille, proprement dite, employée dans les foyers des machines locomotives, soit seule, soit en mélange avec le coke, a l'inconvénient de donner une fumée incommode, et son usage doit être, par ce motif, restreint aux convois de marchandises. Lorsqu'on emploie des houilles un peu bitumineuses, on ne doit charger la grille que sur une faible épaisseur, pour maintenir au tirage toute l'activité nécessaire.

2° Coke.—Le *coke*, pour donner des résultats avantageux au point de vue de l'économie et de la régularité du service, doit remplir plusieurs conditions essentielles. Il doit être dur et solide pour que les manutentions successives auxquelles il est soumis, le chargement sur le tender et les secousses produites par la marche, ne le brisent pas en menus morceaux et n'occasionnent pas un déchet trop considérable; des menus fragments de coke introduits en trop grande quantité dans le foyer gênent le tirage, et obstruent les tubes lorsqu'ils sont entraînés par le courant d'air. Il doit être aussi pur que possible, c'est-à-dire être exempt de fragments de matières schisteuses et non combustibles, et ne renfermer qu'une faible proportion de cendres. Il doit enfin être exempt du sulfure de fer qui nuit à la conservation des foyers et des tubes, soit directement par le soufre qu'il peut abandonner à l'état de corps simple, soit par les produits sulfureux auxquels il peut donner naissance.

On satisfait à la première condition en carbonisant la houille dans des fours d'une grande capacité, et en prolongeant la durée de la cuisson au delà des limites habituellement adoptées pour d'autres usages, notamment pour la métallurgie. On est arrivé dans beaucoup de cas à porter la charge des fours à coke à 6 à 8,000 k[s] de houille et à prolonger la cuisson pendant 100 heures et même plus; mais ces conditions ne peuvent pas être les mêmes pour toutes les houilles et pour toutes les formes d'appareils; il y en a pour lesquelles une carbonisation de 48 heures est tout à fait suffisante; en allant au delà, on s'exposerait à dépasser le but. En chargeant dans les fours de grandes quantités de houille à la fois, on augmente jusqu'à un certain point la densité du produit, mais

on est surtout obligé de le faire pour arriver à donner à la cuisson toute la durée nécessaire; en carbonisant lentement dans des fours de petite capacité, on serait entraîné à de grandes dépenses de premier établissement et on s'exposerait du reste à refroidir les appareils au delà des limites convenables et à compromettre la continuité des opérations. La durée de la cuisson a surtout pour objet de faire séjourner le coke dans le four, sous l'action d'une température très-élevée et de produire une agglutination plus complète, puis de lui donner du recuit en le laissant refroidir très-lentement en étouffant le feu. On obtient ainsi un coke sonore, bien fondu, peu fissuré et d'une grande dureté, ne se réduisant que difficilement en petits fragments.

La dureté, la compacité, l'éclat et la sonorité ne sont pas les propriétés essentielles du coke : ce sont plutôt les caractères de la propriété essentielle que nous avons énoncée, la *solidité* ou la *non-friabilité*.

Jusqu'à un certain point et dans certaines limites, il peut être nécessaire d'avoir un combustible très-dense et très-compact, pour obtenir une température très-élevée en augmentant la masse des réactifs en présence dans le phénomène de la combustion ; mais cette condition n'est pas essentielle, car l'expérience n'indique pas qu'avec un combustible léger, s'il est aussi pur, on n'obtienne pas une même activité de vaporisation ; il y aurait seulement, dans ce cas, accroissement de travail pour le chauffeur et moins de régularité dans la production de la vapeur. Ces deux inconvénients pourraient avoir pour conséquence une consommation plus considérable de combustible, sans que cependant la marche de la machine fut gênée par le manque de vapeur.

L'impureté de la houille employée à la fabrication du coke peut résulter des conditions de son gisement ou de sa nature même, le plus souvent de ces deux causes réunies. Il arrive fréquemment que la houille la plus pure, minéralogiquement parlant, est séparée en veines par de petits lits de matières schisteuses, qu'elle est recouverte de schistes, qui tombent avec elle, lorsqu'on l'abat dans la mine, et qui arrivent au jour mélangés avec elle. Lorsque

la houille s'abat en morceaux, les parties pures peuvent être triées dans la mine, ou plus exactement elle peut être nettoyée par un triage; les fragments auxquels des matières schisteuses restent adhérentes peuvent être purifiés par un cassage et par un nouveau triage, et le produit livré à la carbonisation peut arriver au degré convenable. Lorsque la houille ne sort de la mine qu'à l'état de menu, ce qui a toujours lieu pour une partie au moins, on peut encore enlever à la main les pierres et les fragments de schiste d'un certain volume; mais la masse reste toujours mélangée de menus fragments de schiste qui altèrent souvent dans une très-forte proportion sa pureté. Dans ce dernier cas, on est obligé de soumettre la houille à une préparation mécanique, imitée de celle qui est depuis des siècles appliquée pour séparer les minerais métalliques de leurs gangues; on la fait passer dans des appareils de lavage où les matières se classent par ordre de densité, et où la houille pure se sépare des parties terreuses. Cette opération a, en outre, pour résultat de débarasser la houille de la plus grande partie des pyrites qu'elle renferme et d'assurer, à ce point de vue, la conservation des foyers. Nous ne décrirons pas ici les procédés de lavage qui sont appliqués depuis peu de temps à la préparation de la houille destinée à la fabrication du coke pour locomotives; nous les indiquons seulement en constatant que, dans l'espace de moins d'une année, depuis le commencement de l'année 1849, ils sont devenus d'un usage à peu près général : en insistant sur la nécessité d'y recourir, lorsque la houille peut être améliorée par leur usage et acquérir un plus grand degré de pureté. Les différents moyens de purification qui sont employés après l'extraction pour dégager la houille des matières qui altèrent sa qualité, ne dispensent pas des soins à donner à l'abatage dans l'intérieur de la mine; c'est là surtout qu'on peut arriver à peu de frais, par une direction intelligente, par une surveillance attentive à améliorer la matière première de la fabrication du coke; les frais qu'il est indispensable de faire pour nettoyer la houille sur le carreau de la mine rendent ces soins encore plus nécessaires.

La houille renferme toujours une certaine quantité de matières terreuses intimement mélangées avec la matière combustible; après

la combustion, elles restent à l'état de *cendres*. La proportion de cendres que la houille laisse à la combustion, varie dans des limites très-étendues, depuis moins de 1 p. 0/0 jusqu'à 20 p. 0/0 et au delà; elles se concentrent dans le coke qui ne représente qu'une fraction du poids total de la houille employée pour le fabriquer. Les cendres présentent plusieurs inconvénients; elles tiennent la place d'un poids égal de combustible, et sont grevées de tous les frais de fabrication, de transport et autres qui ne devraient s'appliquer qu'à la matière utile; elles donnent au coke la propriété de se charger d'une grande quantité d'humidité dans les temps pluvieux ou humides, et même par l'extinction à l'eau; elles le réduisent en menu lorsque l'exposition à l'air est prolongée. Elles nuisent à la combustion, lorsqu'elles sont de nature peu fusible sans être cependant complétement réfractaires, en restant adhérentes à la surface des morceaux de coke et en gênant la combustion; si elles étaient fusibles, elles s'en sépareraient par une sorte de liquation en formant des scories et du mâchefer, et, si elles étaient complétement réfractaires, elles seraient entraînées à l'état de poussière par la cheminée. Elles obstruent le passage de l'air sur une grille chargée d'une couche assez épaisse de combustible, en se tassant fortement sous l'action de la trépidation produite par le mouvement; de là résulte la nécessité d'activer le tirage en serrant l'échappement, et de créer des contrepressions, qui deviennent une source de dépense, sans compter la nécessité de piquer le feu, opération qui fait toujours perdre du coke. Les cendres de nature intermédiaire ont l'inconvénient d'engorger l'orifice des tubes et les tubes eux-mêmes en adhérant aux parois, lorsqu'elles sont entraînées par un courant d'air très-actif. Les fragments de schiste sont moins nuisibles que la cendre intimement mélangée dans le combustible, car, généralement, ils sont chargés d'une certaine quantité de carbonate ou d'oxyde de fer provenant de la décomposition des pyrites, qui les rend fusibles; ils coulent sur la grille sous forme de *mâchefer*, et on peut, à la rigueur, maintenir le feu actif en le piquant fréquemment.

L'expérience a fait reconnaître que le coke, pour être de *bonne*

qualité, ne devait pas laisser plus de 6 p. 0/0 de résidu (cendre et schiste) ; à 9 p. 0/0, il est d'une *qualité médiocre ;* à 12 p. 0/0, il devient décidément *mauvais* et ne peut plus donner que des résultats très-défavorables pour le service. On doit donc, lorsqu'on installe le service d'un chemin de fer, se rendre un compte exact de la nature et des propriétés des houilles qui peuvent être appliquées à la fabrication du coke pour le service de la locomotion ; on doit, en traitant avec les fournisseurs, stipuler toutes les garanties qu'il est possible d'obtenir pour le choix des matières, pour les soins apportés à la fabrication. Les difficultés de toute nature inhérentes à des traités de cette nature avaient amené beaucoup de personnes à considérer comme une nécessité la fabrication du coke en régie, par les soins mêmes de l'administration du chemin de fer ; cette nécessité a cessé, depuis peu de temps, par l'introduction, dans les marchés de coke, d'une clause précise, ayant pour objet de créer des garanties qui n'étaient auparavant que nominales ; cette clause, comme tout ce qui est à la fois vrai et pratique, a reçu, en moins d'une année, une application générale sur plusieurs lignes importantes de chemins de fer, et spécialement sur le chemin de fer du Nord. On stipule que la proportion de résidu à l'incinération n'excédera pas 6 p. 0/0, par exemple, que les livraisons qui présenteront une teneur supérieure à 8 p. 0/0 pourront être refusées ; on fait, chaque mois, une moyenne de la teneur en cendres des cokes présentés à la réception, et, pour chaque *demi-centième* en sus du taux stipulé (6 p. 0/0), on fait sur le prix du marché, pour toute la durée du mois, une retenue de 0f 50 par tonne ; on convient même d'allouer au fabricant une bonification analogue, toutes les fois que le coke qu'il a livré n'atteint pas la limite convenue. On fait des prises d'essai, qui représentent sensiblement la qualité moyenne, sur la fourniture de chaque jour, et par l'incinération on constate son degré de pureté ; c'est la moyenne de ces résultats journaliers que l'on prend à la fin du mois. Cette combinaison a eu pour résultat d'améliorer d'une manière très-remarquable la qualité du coke ; la proportion de cendres qui ne descendait qu'accidentellement à 10 p. 0/0, qui s'élevait jusqu'à 20 p. 0/0, a été

réduite à 7, 6, 5 et même 4 p. 0/0; des cokes qui ne fournissaient qu'un très-mauvais service sont devenus presque comparables, pour la qualité, aux cokes tirés à grands frais d'Angleterre.

L'application du lavage à la houille et la fixation d'un maximum pour la teneur en cendres constitue l'une des améliorations les plus importantes qui aient été apportées, dans ces derniers temps, au service de nos chemins de fer, sous le double point de vue de l'économie et de la régularité. Cette dernière méthode est un nouvel exemple des services que la chimie est appelée à rendre dans l'industrie; pour ce qui concerne les chemins de fer, où les consommations et les emplois de matières premières se font sur une immense échelle, il y a certainement beaucoup à faire encore dans cette voie, pour la préparation des eaux d'alimentation, la réception des huiles et des graisses, etc., la vérification des alliages, le choix des fontes, etc.....

Dans les marchés pour la fourniture du coke, on doit encore stipuler des réserves pour le cas où le fabricant livrerait du coke imprégné d'eau; l'extinction à la sortie du four doit être faite avec la plus petite quantité d'eau possible, de telle sorte que la chaleur propre des fragments de coke, lorsqu'il ne sont plus incandescents, suffise pour réduire en vapeur l'eau qu'ils ont absorbée en excès. Comme moyen de contrôle et de réparation du dommage causé à l'acheteur, celui-ci se réserve la faculté de mesurer par une dessication prolongée la quantité d'eau que contient le coke livré, et de la déduire du poids des livraisons; cette vérification doit être faite toutes les fois que l'agent préposé à la réception au lieu de fabrication le juge nécessaire; elle est d'autant plus importante, que, si on néglige de la faire, la quantité d'eau payée comme combustible peut s'élever à 10 et 15 p. 0/0 et même au delà : elle est surtout nécessaire, lorsque le poids des livraisons n'est constaté qu'après un transport par bateaux. L'eau contenue dans le coke n'a pas seulement pour inconvénient d'augmenter dans une proportion très-notable le prix d'achat, lorsqu'on néglige d'en faire la déduction; elle nécessite, pour être réduite en vapeur dans le foyer, la dépense d'une quantité de chaleur qui n'est

pas entièrement négligeable. En effet, l'eau, pour être réduite en vapeur à une haute température, exige une quantité de chaleur qui peut être évaluée à environ 700 calories, et, d'un autre côté, le coke par la combustion produit au maximum 7,000 calories ; l'eau renfermée dans le coke occasionne donc, pour se vaporiser dans le foyer, une quantité de combustible qui peut être évaluée à 1/10 de son poids ; si elle atteint les proportions de 10 p. 0/0, de 20 p. 0/0, c'est 1 p. 0/0 ou 2 p. 0/0 de coke consommé en pure perte. C'est là une source de dépense qui n'est pas négligeable sur un chemin de fer d'une grande étendue ; elle justifie les soins que l'on prend pour mettre à l'abri, sous des hangars, le coke destiné à servir de réserve, et dans lesquels il doit rester longtemps avant d'être livré à la consommation des machines.

2° Mode de combustion. — Les règles adoptées pour fixer la hauteur que le coke doit occuper sur la grille, sont très-variables ; il règne un désaccord assez grand sur ce sujet entre les ingénieurs chargés du service de la traction sur les chemins de fer ; la disposition des foyers présente, par suite, des différences assez marquées, qui en sont la conséquence. La hauteur, au-dessus de la grille, des tubes qui forment la rangée inférieure, limite celle du combustible à la partie antérieure du foyer ; or, cette hauteur varie de 0m 45 à 0m 75, on l'a même portée, dans ces derniers temps, à 1m ; des divergences de cette nature ne peuvent pas être justifiées par la différence de nature du combustible ; elles se présentent d'ailleurs dans des machines affectées au même service. Il y a là une question qui n'a pas encore fixé suffisamment l'attention des praticiens ; nous ne chercherons pas à la résoudre, car nous manquons de données expérimentales à ce sujet. Nous chercherons seulement à la poser en termes précis, en invitant les personnes intéressées à l'étudier.

Dans le phénomène de la combustion, le carbone, qui constitue la matière utile à la combustion, se combine avec l'oxygène de l'air appelé par le tirage à travers la grille ; le produit de la combustion varie suivant la proportion relative des réactifs mis en

présence ; si l'air est en excès, le produit sera de l'acide carbonique ; si le carbone est en excès, le produit sera de l'oxyde de carbone, qui contient, pour une même quantité de carbone, moitié moins d'oxygène que l'acide carbonique et qui, lui-même, est susceptible de brûler en produisant une quantité de chaleur considérable, en absorbant l'oxygène qui lui manque pour se transformer en acide carbonique. Si les proportions de carbone ou de coke et d'air sont comprises entre les deux limites, le produit est un mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone. Dans un foyer de machine locomotive, la couche de combustible, la dimension des passages laissés aux gaz, entre les morceaux de coke, et le tirage peuvent être dans des rapports tels, que tout l'air qui traverse la grille soit transformé en acide carbonique, la combustion aura lieu dans ce cas, d'une manière complète et fournira, avec le minimum de combustible, la plus grande quantité possible de chaleur. Le foyer étant dans cet état, si l'on suppose qu'une nouvelle couche de combustible incandescent soit superposée à la première, une réaction, bien connue dans les laboratoires et dans la métallurgie, aura lieu : l'acide carbonique cédera au carbone la moitié de son oxygène, pour former de l'oxyde de carbone, en même temps qu'il sera lui-même transformé en oxyde de carbone ; cette nouvelle réaction, si elle ne produit pas un refroidissement, comme cela doit avoir lieu dans une certaine mesure, ne produira pas tout au moins, une élévation de température, et, pour une même quantité de chaleur produite, on aura une consommation plus forte de combustible.

L'exagération de la hauteur du combustible n'a pas seulement pour résultat une consommation de coke inutile, elle entraîne avec elle encore d'autres inconvénients. Un volume d'acide carbonique, lorsqu'il se transforme en oxyde de carbone au contact de la masse de combustible incandescent, donne deux volumes de ce nouveau gaz ; par suite, lorsqu'au lieu de produire de l'acide carbonique seulement dans le foyer, on arrivera, par l'augmentation de la hauteur du combustible chargé sur la grille, à ne produire que de l'oxyde de carbone, c'est un volume double de gaz chauds qu'il faudra faire passer à travers les tubes, sous l'action du tirage pro-

duit par le jet de vapeur dans la cheminée; en outre, les gaz produits devront être appelés à travers une couche de combustible plus épaisse, plus fortement tassée et, par conséquent, présentant plus de résistance à l'écoulement, indépendamment de l'augmentation de volume qu'ils ont éprouvée avant d'arriver à la partie supérieure du foyer; c'est, pour ces deux motifs, une augmentation de tirage rendue nécessaire et produisant, à son tour, une augmentation de résistance derrière le piston, une déperdition plus grande du travail moteur développé par la vapeur. En outre, la couche supérieure du combustible, lorsqu'il est chargé sur une très-grande hauteur, n'atteint plus une température aussi élevée qu'elle le ferait si la combustion était mieux faite, et la quantité de chaleur qu'elle lance par voie de rayonnement vers le ciel du foyer et des parois, doit être notablement réduite. Un seul avantage peut contrebalancer une partie des inconvénients qui viennent d'être signalés, c'est celui qui résulte de l'augmentation de la surface de contact entre la masse de combustible incandescent et les parois métalliques du foyer; il peut en résulter un accroissement dans l'activité de la vaporisation; mais tout porte à croire que c'est au détriment de l'économie du combustible.

Il est incontestable que, dans beaucoup de cas, il y a production d'oxyde de carbone dans les foyers de machines locomotives; on le reconnaît en entr'ouvrant la porte: la flamme qui se produit dans ce cas, dénote la présence de ce gaz; or, elle ne se produit pas lorsque le feu est bas. Hâtons-nous de dire toutefois que, lors même que les choses se passeraient exactement comme l'indique la théorie, ce ne serait pas, dans tous les cas, un motif suffisant pour faire réduire la charge du combustible à la dernière limite, car il faut tenir compte des nécessités de conduite de la machine elle-même. Le feu ne peut pas être, à chaque instant et dans toutes les circonstances, rechargé avec du coke froid; le chargement du coke doit être combiné avec l'alimentation, avec le profil du chemin et la dépense de vapeur, de telle sorte que la tension de celle-ci ne tombe pas au-dessous de certaines limites, que la machine, en un mot, ne vienne pas à *manquer de vapeur;* les conditions mêmes

du service peuvent conduire à maintenir une certaine épaisseur de combustible qui peut être trop forte pour satisfaire aux conditions d'une combustion parfaite.

Les développements qui précèdent indiquent suffisamment combien il serait utile d'étudier, par voie d'expériences de laboratoire et de service, comment la combustion a lieu dans l'intérieur d'une chaudière de machine locomotive. Il faudrait : 1° déterminer comment sont composés les produits de la combustion dans les différentes circonstances où un foyer peut se trouver placé, et pour différents foyers, suivant que la charge sur la grille est haute ou basse, que le coke est dense ou léger, en gros ou en menus fragments, qu'il est pur ou impur, que le tirage est modéré ou très-actif ; 2° évaluer la température des gaz dans le foyer, au-dessus du combustible, suivant la hauteur de la charge ; 3° examiner comment varie l'intensité du tirage, pour produire une même vaporisation, suivant que le mécanicien travaille habituellement avec une forte ou une faible charge de coke sur la grille ; 4° rechercher quelle est la hauteur à laquelle il convient de maintenir habituellement la charge de coke, pour obtenir du combustible le maximum d'effet utile, sans compromettre la régularité de la vaporisation, comment il faut la faire varier suivant les pentes et les rampes, le temps depuis lequel le feu est allumé, etc., formuler, en un mot, les instructions à donner aux mécaniciens qui conduisent les machines.

Quoique nous manquions de données expérimentales un peu précises sur cette question, il y a un certain ensemble de faits qui indique dans quel sens elle doit être résolue. L'aspect du feu pendant la marche, l'activité de vaporisation qu'obtiennent les mécaniciens lorsque, arrivant au terme de leur voyage, ils restent pendant les 30 ou 40 derniers kilomètres sans recharger le feu, la différence dans l'activité de la combustion et de la vaporisation qu'on observe à la montée et à la descente des rampes, l'exemple des constructeurs qui se sont toujours fait remarquer par la bonne entente de toutes les dispositions, etc., montrent qu'il y a tout avantage à ne pas exagérer la hauteur du coke sur la grille. Il semble, quant à présent, et à défaut de données plus précises, que

la hauteur la plus convenable des tubes inférieurs au-dessus de la grille, est 0m 50; cela n'empêche pas, si l'on cherche à tout prix à augmenter la surface de chauffe du foyer, d'augmenter sa profondeur; mais il faut éviter alors de laisser monter la charge jusqu'aux tubes.

On observe, dans quelques anciennes machines, une disposition, dont le but était peut-être seulement de donner aux mécaniciens le moyen de constater l'état du feu, sans déterminer une trop grande rentrée d'air, et qui pourrait être utilisée, sans doute, pour régler la combustion ; deux trous, d'environ 0m 04 de diamètre sont percés dans la porte et fermés à volonté, en totalité ou en partie, par un double papillon ; en démasquant plus ou moins ces ouvertures, suivant l'état de la charge de coke, on brûlerait, au-dessus de sa surface et dans les tubes, l'oxyde de carbone qui se forme lorsque le combustible est en quantité trop considérable, et il y a tout lieu de croire qu'un emploi intelligent de cette disposition permettrait d'obtenir un plus grand effet utile du combustible.

3° Transmission de la chaleur a travers les parois. — La transmission de la chaleur à travers les corps solides présente une grande analogie avec l'écoulement des fluides; de même que pour ceux-ci une certaine différence de pression entre les deux extrémités de la conduite est nécessaire pour produire l'écoulement de l'eau ou des gaz, de même une certaine différence de température est nécessaire pour que la chaleur se transmette d'un côté à l'autre d'une paroi métallique d'une épaisseur déterminée; la transmission sera d'autant plus rapide, que la différence de température sera plus considérable et que la paroi sera moins épaisse. Il n'est donc pas indifférent, dans la construction d'une machine locomotive, de donner plus ou moins d'épaisseur aux parois du foyer et aux tubes ; s'il convient de porter cette épaisseur à une certaine limite, pour augmenter leur durée et éviter des réparations trop fréquentes, il convient également de ne pas l'exagérer pour ne pas restreindre la facilité de transmission de la chaleur ; cette condition s'accorde, du reste, avec la nécessité de ne pas augmenter indéfi-

niment le poids de l'appareil et les frais que nécessite sa construction ; les dimensions adoptées actuellement paraissent convenables, et rien n'indique qu'on soit conduit à les accroître.

Si les observations qui précèdent n'ont pour objet que de poser un principe qui, en fait, n'a pas d'application, il en est une autre dont l'importance est capitale et sur laquelle nous insisterons spécialement, bien que nous ayons eu déjà l'occasion de la présenter. La conductibilité des corps, ou la facilité avec laquelle ils transmettent la chaleur, varie dans des limites très-étendues, suivant leur nature ; si l'on cherche à établir comment les différents corps sont classés sous le rapport de la facilité avec laquelle la chaleur se propage dans leur masse, ce qui donnera, sinon la mesure, du moins l'indication de la facilité plus ou moins grande avec laquelle ils transmettent la chaleur d'une paroi à l'autre, on trouve que la conductibilité de certains métaux, comme l'or, l'argent, le platine et le *cuivre*, varie entre 1,000 et 900 ; que celle d'autres métaux, comme le fer, le zinc et l'étain, varie entre 400 et 300, et que celle des matières terreuses, comme le marbre, la terre cuite, la porcelaine, est inférieure à 30. Il en résulte, d'une manière incontestable, que les incrustations qui se forment sur les parois extérieures du foyer et des tubes, lorsque les eaux sont chargées de matières sédimentaires, deviennent promptement une cause d'augmentation de dépense de combustible, lorsqu'elles atteignent une épaisseur un peu notable. Ce fait est, du reste, suffisamment démontré par la rapidité avec laquelle s'usent les tubes et les foyers à l'intérieur, lorsqu'ils sont incrustés à l'extérieur, et lorsqu'ils sont, par suite, soumis constamment à une haute température, qui ne serait pas atteinte si l'eau baignait constamment le métal, ou si les matières terreuses qui les enveloppent avaient une conductibilité comparable à celle des métaux.

Les chiffres qui précèdent expliquent aussi pourquoi on a intérêt à employer pour le foyer le cuivre et pour les tubes le laiton, au lieu du fer, comme l'ont essayé quelques constructeurs. Les tubes de cuivre rouge, qui ont été employés dans quelques cas, seraient préférables à ceux de laiton, s'ils ne devaient pas être

construits avec un métal assez dur pour résister à l'usure produite par le frottement des escarbilles qu'entraine le courant d'air ; cette question ne peut pas être d'ailleurs considérée comme entièrement résolue, et il y aurait lieu de l'examiner à fond, au moyen d'expériences bien comparables, maintenant surtout qu'on est parvenu à améliorer la qualité du coke en augmentant sa densité et en diminuant sa friabilité.

4° Surface de chauffe du foyer et des tubes. — L'économie du combustible se rattache directement à la question des surfaces de chauffe ; il est évident, tout d'abord, que pour produire, dans un temps donné, une quantité déterminée de vapeur, toutes choses égales d'ailleurs, la dépense de combustible sera d'autant moins grande que la chaleur sera mieux utilisée, et que les produits de la combustion arriveront avec une température moins élevée dans la boîte à fumée. Il importe donc de multiplier, autant que possible, les surfaces qui reçoivent l'action de la chaleur et la transmettent à la masse d'eau à vaporiser, soit par contact et par rayonnement du combustible, soit par rayonnement du combustible et par contact des gaz chauds, soit par simple contact des gaz chauds; le premier mode de transmission a lieu dans la partie inférieure du foyer; le second, dans sa partie supérieure, et le dernier dans les tubes. Pour augmenter le pouvoir de vaporisation de la chaudière, ou pour rendre plus complète la transmission de la chaleur destinée à produire une vaporisation donnée, il faut augmenter les surfaces sur lesquelles s'exerce chacune des actions que nous avons spécialisées; c'est, en effet, ce que les constructeurs se sont appliqués à faire, au fur et à mesure qu'on a demandé aux machines plus de puissance et de vitesse, au fur et à mesure qu'on s'est appliqué à rendre plus restreinte la consommation du combustible. L'étendue de la surface de chauffe doit être aussi grande que possible, ou plus exactement aussi grande qu'on peut le faire sans dépasser les limites du poids total de l'appareil, et celles qu'il convient d'assigner à la répartition de ce poids sur les supports, sans cesser de satisfaire aux conditions de bonne construc-

tion et de solidité. Mais il n'est pas indifférent de faire porter cette augmentation sur telle ou telle partie de la surface de chauffe, et pour chaque partie d'augmenter telle dimension plutôt que telle autre ; il est évident, en effet, qu'à mesure égale, l'augmentation de surface de chauffe dans le foyer est plus efficace que dans les tubes ; il est évident également qu'il n'est pas indifférent d'augmenter la hauteur ou les dimensions transversales du foyer, la longueur ou le nombre des tubes pour arriver à une même augmentation de surface dans chacune de ces parties.

En faisant varier la hauteur de la boîte à feu sans rien changer à ses dimensions transversales, on augmente le développement des parois verticales ; mais, en même temps, on est conduit à augmenter la hauteur de charge de coke sur la grille et à modifier d'un manière désavantageuse les conditions de la combustion, et de plus on rend moins efficace le rayonnement, car les éléments de la physique apprennent que la quantité de chaleur émise vers une surface par un corps chaud et reçue par cette surface est proportionnelle au sinus de l'angle d'incidence et en raison inverse du carré de la distance ; en approfondissant le foyer pour augmenter sa surface, on altère tout à la fois le mode de combustion, les conditions du rayonnement vers la partie supérieure des parois verticales et vers le ciel du foyer. C'est donc surtout par voie d'élargissement du foyer qu'il faut procéder, si l'on veut se placer dans les conditions les plus favorables pour accroître la vaporisation et tirer du combustible l'effet le plus avantageux. Des remarques analogues s'appliquent aux tubes ; en augmentant leur longueur, on augmente les difficultés du tirage et on diminue l'effet utile de la vapeur, tandis qu'en augmentant leur nombre pour arriver à un même développement de surface de chauffe, on augmente la section des tuyaux d'écoulement, sans augmenter leur longueur et, par suite, on améliore les conditions du tirage.

C'est donc à la fois par l'augmentation des dimensions horizontales du foyer, et par l'augmentation du nombre des tubes qu'on doit arriver à l'augmentation de la surface de chauffe qu'il convient du reste de porter au degré le plus élevé que comportent les autres

conditions imposées au constructeur. On est conduit par là à augmenter le diamètre des chaudières (partie cylindrique), la largeur et la longueur du foyer, et subsidiairement à faire usage du châssis extérieur, qui se prête mieux que le châssis intérieur à l'augmentation du diamètre, qui permet seul de donner au foyer sa largeur maximum, et enfin à placer la paire de roues d'arrière à l'arrière du foyer, ce qui permet d'allonger celui-ci de toute la quantité nécessaire. Nous verrons, du reste, que d'autres considérations conduisent au même résultat, de telle sorte que les dispositions que nous venons d'indiquer sont celles qui répondent le mieux aux nécessités de la construction.

5° Travail de la vapeur dans les cylindres. — Nous avons établi suffisamment l'importance de la détente, au point de vue de l'économie du combustible, en faisant ressortir dans les notions préliminaires l'augmentation de l'effet utile que pouvait produire la détente, au fur et à mesure qu'elle était prolongée pendant une plus grande partie de la course ; l'expérience démontre du reste clairement son utilité, soit lorsqu'elle est obtenue par l'avance et le recouvrement, soit lorsqu'elle est rendue variable par l'emploi de la coulisse de Stephenson, quelque imparfait que soit cet appareil. Les expériences que nous rapporterons plus loin font voir que, malgré le rétrécissement considérable des lumières, la détente de Stephenson elle-même est d'autant plus avantageuse, qu'elle est plus prolongée. Il convient donc, lorsque l'on combine les plans d'une machine, de disposer les cylindres et de déterminer leur diamètre en considération de ce résultat, de telle sorte que le mécanicien ne soit conduit qu'accidentellement et par exception, pour démarrer des trains très-chargés, à admettre la vapeur pendant la plus grande partie de la course. La détente fixe avait permis d'augmenter le diamètre des cylindres et à le porter de 0^{m} 33 à 0^{m} 38 ; on le porte maintenant à 0^{m} 40, et même à 0^{m} 42, pour des machines de même puissance.

Nous avons également montré quel intérêt il y avait à faire travailler la vapeur à une tension élevée ; cela a été tellement senti

dans les machines locomotives, que la limite de tension dans les chaudières a été portée successivement de 4 et 4 1/2 atmosphères à 5, 6 et 7; les constructeurs anglais dépassent même aujourd'hui cette limite. L'utilité de la haute pression se manifeste particulièrement dans les machines où l'on fait usage de la coulisse de Stephenson pour détendre la vapeur jusqu'aux derniers crans du secteur; les orifices des lumières n'étant plus découverts que de quantités très-petites, la tension de la vapeur éprouve une réduction considérable pendant l'admission, et ne peut arriver à un degré convenable qu'autant que la pression qui produit l'écoulement à travers l'orifice rétréci est elle-même très-forte. Avec 7 atmosphères de tension dans la chaudière, on peut arriver à 3 ou 4 atmosphères de pression absolue dans les cylindres, et employer la vapeur dans des conditions qui ne sont pas trop désavantageuses.

L'augmentation de la tension de la vapeur nécessiterait une augmentation correspondante dans les épaisseurs, et, par suite, dans le poids de la chaudière, si ces dimensions étaient à leur limite pratique; mais, généralement, on a donné un surcroît d'épaisseur à la partie cylindrique, et un surcroît de solidité aux entretoises de la boîte à feu, ainsi qu'aux armatures qui soutiennent le ciel du foyer, et les machines construites anciennement pour travailler à 5 atmosphères peuvent être chargées à 7 atmosphères sans inconvénient, si elles sont en bon état; le bénéfice de l'accroissement de tension reste entier. Le mouvement de déplacement des tiroirs étant de beaucoup réduit dans les fortes détentes, le travail résistant, qui résulte de la grande différence de pression entre le cylindre et la boîte du tiroir reste compris sensiblement dans les mêmes limites que si le tiroir conservait toute sa course, avec une pression réduite par la fermeture du régulateur. Il n'y a donc pas non plus de ce côté d'inconvénient sensible à élever la tension de la vapeur dans la chaudière.

Il est nécessaire de combiner la forme et la position des cylindres, de manière à faciliter le dégagement de la vapeur, et afin de diminuer la contre-pression qui persiste derrière le piston pendant

l'échappement, et qui est nécessaire pour produire son écoulement. Pour cela, il faut réduire au strict nécessaire la longueur du tuyau d'échappement depuis son origine jusqu'à son orifice, faire disparaître ou arrondir les coudes brusques, et augmenter la section des orifices et des tuyaux autant que le comporte l'intensité du tirage que l'on doit se réserver la facilité de produire. En augmentant la section des tuyaux d'échappement, on augmente aussi leur volume, et l'échappement n'a plus, à l'orifice de la tuyère, la même vigueur que si, entre cet orifice et le cylindre, la vapeur ne trouve qu'une capacité restreinte, où elle ne se détend et ne perd pas la vitesse que lui imprime la tension qu'elle a dans l'intérieur du cylindre. Nous ferons remarquer toutefois que, s'il existe en principe des limites entre lesquelles la section des conduits d'échappement doit être maintenue, en fait, les exigences de la construction même des cylindres, notamment en ce qui concerne les tiroirs, qui ne peuvent avoir qu'une longueur et une course déterminées, font rester au-dessous des dimensions que l'on pourrait atteindre, sans nuire d'une manière sensible au tirage ; il y a même lieu de croire qu'en raison de la grande surface de grille et de la grande surface de chauffe que l'on donne actuellement aux machines, il y aurait encore avantage à dépasser les dimensions les plus grandes que les constructeurs aient adoptées jusqu'ici pour la section des conduits d'échappement.

6° Entraînement de l'eau et condensation. — La quantité d'eau dépensée dans une machine locomotive est loin de correspondre au travail moteur développé par la vapeur. Nous avons déjà indiqué jusqu'à quel point l'entraînement de l'eau pouvait être considérable, et quelle influence nuisible il exerçait ; comment on pouvait, jusqu'à un certain point, y remédier dans les machines construites dans des conditions défavorables ; il nous reste à examiner quelles doivent être les règles à suivre pour arriver à l'économie de vapeur et de combustible, par une disposition bien entendue des chaudières.

L'activité de la vaporisation rend nécessairement l'ébullition

très-tumultueuse, l'eau se tuméfie à la surface, des goutelettes d'eau sont projetées en tous sens, l'eau peut même devenir mousseuse si elle renferme des matières grasses en suspension ou en dissolution, introduites pendant les réparations, amenées avec l'eau d'alimentation ou provenant des garnitures. Il faut donc avant tout que la chambre de vapeur ait dans toutes ses parties une hauteur suffisante, pour qu'il reste au-dessus de la surface de l'eau un espace suffisant pour le mouvement de la vapeur qui s'écoule vers la prise de vapeur. On remarque, en effet, que, dans certaines machines où l'on n'a pas ménagé un espace suffisant entre les tubes et le sommet du corps cylindrique de la chaudière, quelle que soit la position du dôme de prise de vapeur, à l'avant ou à l'arrière, il y a toujours un entraînement d'eau considérable, qu'on ne peut faire cesser qu'en laissant tomber le niveau de l'eau très-bas ; le courant de vapeur vers l'orifice d'écoulement s'établit trop près de la surface de l'eau, et l'eau elle-même, qui forme la zone superficielle tuméfiée ou mousseuse, ou qui est en suspension, à l'état de goutelettes, est entraînée vers le régulateur et passe en partie dans les cylindres. Cet effet est particulièrement sensible dans les machines dont le dôme de prise de vapeur placé au-dessus du foyer ne présente qu'un segment de cylindre d'une assez faible hauteur au-dessus de la surface de l'eau, et dans lesquelles cet espace est obstrué par des tirants et un tuyau de prise de vapeur en fonte ; lorsque le mécanicien ouvre le régulateur, l'eau s'élève considérablement dans le tube indicateur, et la machine crache d'une manière presque continue ; puis, lorsque l'alimentation ne vient pas réparer la consommation d'eau qui a eu lieu, il arrive un moment où le niveau tombe brusquement et se maintient très-bas dans le tube indicateur. L'inverse aurait lieu si le dôme de prise de vapeur était transporté à l'avant de la machine, et la dénivellation pourrait devenir telle, que le foyer, au lieu de se découvrir lorsque la machine s'arrête, se découvrît pendant la marche. Dans le premier cas, on améliore ces machines en appliquant un second dôme sur le corps cylindrique, sans toucher à celui de la boîte à feu ou *vice versâ*, et en prenant la vapeur sur deux points à la fois.

La *hauteur* du réservoir de vapeur est donc une chose essentielle; il faut qu'elle soit telle que le mouvement de transport de la vapeur puisse se faire d'une extrémité à l'autre, sans que la zone d'eau superficielle puisse être déplacée. Les machines qui paraissent jusqu'ici placées dans les meilleures conditions, sous ce rapport, sont celles que M. E. Gouin a construites pour le chemin de fer de Paris à Lyon (*fig.* 1, 2, 3, 4, *pl.* 64 *et* 65), dans lesquelles le dôme est placé à l'avant, et dont le réservoir de vapeur dans le corps cylindrique a $0^m,325$ de hauteur.

Il n'est pas indifférent de donner au réservoir de vapeur une grande capacité, il faut en effet que le volume de vapeur enfermé dans la chaudière soit tel, qu'à l'ouverture du régulateur ou au milieu de la course des pistons, la vapeur se précipitant en grande quantité dans l'espace vide des tuyaux de distribution, ou pour remplir le volume engendré par les cylindres, il n'y ait pas une diminution trop sensible de pression qui occasionnerait un bouillonnement et une projection d'eau considérable; mais les cylindres puisent leur vapeur dans un tuyau commun, souvent même dans une boîte de tiroir commune, et l'écoulement de la vapeur se fait avec une régularité assez grande pour que l'inconvénient signalé ne se produise pas; d'un autre côté les mécaniciens sont habitués à n'ouvrir que très-graduellement le régulateur, afin même d'éviter un boursouflement subit de la masse d'eau au moment du départ. La réduction de capacité du réservoir de vapeur n'aurait donc qu'un inconvénient restreint, si elle n'avait pas en même temps pour conséquence la diminution en hauteur de l'espace qui reste libre au-dessus de l'eau.

Nous avons conseillé de placer le dôme de prise de vapeur vers l'avant de la machine, parce que c'est dans cette partie que l'ébullition est la moins active, et que la tuméfaction de l'eau au-dessus de son niveau normal est la moindre; la base du dôme de prise de vapeur reste mieux dégagée, et l'orifice d'écoulement ne peut pas être atteint par les gouttelettes d'eau que les bulles de vapeur peuvent projeter à une grande hauteur, lorsqu'elles se dégagent sans obstacle entre les parois des boîtes à feu intérieure et extérieure.

Les bulles de vapeur qui se forment dans le corps cylindrique doivent du reste être divisées par les tubes, et ne doivent pas avoir au même degré la faculté de projeter l'eau, indépendamment de la moindre activité de la vaporisation.

Les considérations qui précèdent conduisent à augmenter autant que possible le diamètre du corps cylindrique, afin que, tout en y plaçant un très-grand nombre de tubes, on puisse laisser vide d'eau, et conserver pour former le réservoir de vapeur, une grande partie du cylindre.

La condensation de l'eau dans les cylindres, indépendamment de l'entraînement mécanique, contribue pour beaucoup à mettre la dépense d'eau hors de proportion avec celle de vapeur, surtout lorsque les machines sont à cylindres extérieurs; elle est elle-même la conséquence de l'entraînement de l'eau. La détente doit donner lieu à une condensation considérable, en déterminant la vaporisation de l'eau liquide entraînée dans le cylindre, et par suite, en refroidissant les parois du cylindre et le piston, de telle sorte que la vapeur qui arrive de la chaudière doit se condenser en partie pour réparer la perte de chaleur; la même chose a lieu pour l'échappement; mais, lorsqu'on détend avec la coulisse de Stephenson, cet inconvénient est compensé en partie par la compression qui fait porter l'effet de la condensation sur la vapeur qui a travaillé et dont l'écoulement se trouve intercepté.

Le refroidissement extérieur des cylindres doit être combattu par l'application d'une couverture peu conductrice; mais le refroidissement intérieur résulte de l'action même de la vapeur; on ne peut le combattre qu'en desséchant la vapeur. Indépendamment du moyen de séparation mécanique de l'eau et de la vapeur, que nous avons indiqué, on a proposé divers moyens pour dessécher la vapeur en la suréchauffant; il y a sans doute d'utiles recherches à faire dans cette direction, mais, jusqu'ici, il n'a pas été fait d'expériences concluantes, et ce que l'on doit avant tout tâcher d'obtenir, c'est une bonne disposition de la chaudière et une proportion convenable entre l'espace occupé par l'eau et celui qui est réservé aux tubes.

§ 4. — Vitesse et puissance de traction.

La vitesse et la puissance de traction des machines locomotives sont en quelque sorte la manifestation, sous deux formes diverses, du travail utile que peut produire la vapeur sur les pistons; une même quantité de travail moteur peut être employée à faire parcourir au point d'application d'une résistance relativement faible, un espace très-grand dans l'unité de temps, ou à faire parcourir au point d'application d'une résistance considérable un espace restreint; si le produit des valeurs numériques de ces deux éléments reste le même pour deux machines appropriées chacune à l'un de ces deux effets, on pourra dire, d'une manière générale, que la *puissance* de ces machines est la même, bien que cette puissance se manifeste par des résultats différents. La puissance d'une machine locomotive, envisagée à ce point de vue général, dépend uniquement de la capacité de vaporisation dont elle est douée, c'est-à-dire de la quantité de vapeur que la chaudière peut produire dans l'unité de temps, et du volume que le mouvement des pistons peut engendrer dans les cylindres pendant l'unité de temps, en raison même des dispositions des organes principaux du mécanisme, volume qui devrait être exactement égal à celui de la vapeur produite, si la tension de celle-ci restait la même dans la chaudière et dans les cylindres, et s'il n'y avait pas de condensation qui annule une partie de l'effet de la vapeur. Il ne suffit pas en effet qu'une machine ait un grand pouvoir de vaporisation pour prendre une grande vitesse avec des convois légers, ou pour remorquer à une vitesse modérée des convois de marchandises lourdement chargés; il faut encore que la capacité des cylindres soit assez grande, et que cette capacité soit remplie un assez grand nombre de fois, pour que toute la vapeur produite soit utilement dépensée. Inversement, une machine qui aurait des cylindres trop grands, et dont l'essieu moteur ferait un trop grand nombre de révolutions pour que la vapeur pût remplir le volume engendré par les pistons à une tension voisine de celle qui existe dans la chaudière, serait frappée d'impuissance, car

la pression sur les pistons serait restreinte et ne correspondrait pas à celle que comporte leur surface.

Une machine ne peut donc réaliser le maximum de puissance dont la chaudière est susceptible, que si les organes moteurs sont bien proportionnés à la vaporisation qu'elle peut produire, *et vice versâ*. Il est très-difficile, si ce n'est impossible, d'établir à priori quel rapport il convient d'établir entre ces deux éléments principaux d'une machine, entre la production et la dépense de vapeur; en effet, ces éléments sont affectés par de nombreuses causes dont l'influence ne peut pas être mesurée exactement; on ne sait pas quelles sont les quantités de vapeur produites respectivement par la surface de chauffe du foyer, et par celle des tubes; la vaporisation ne dépend pas seulement de la surface de chauffe, elle dépend, en grande partie, des dispositions qui concourent à produire le tirage, des lumières d'échappement, des tuyaux et de l'orifice d'échappement, de la cheminée, de la section, du nombre et de la longueur des tubes, de la forme du foyer, de la qualité et de la forme du combustible, etc. La dépense de vapeur, surtout si l'on a égard à la dépense utile qui peut se représenter par un travail utile produit, ne dépend pas seulement du volume que les pistons engendrent par leur course, elle dépend aussi du règlement de la distribution, de la forme et de la dimension des lumières, de la condensation, etc. On ne peut donc pas établir des règles théoriques à ce sujet, on ne peut citer que des exemples. C'est ainsi que l'on peut considérer comme se trouvant à la limite du pouvoir de vaporisation, par rapport aux dimensions établies pour le mécanisme, les machines à voyageurs et à marchandises des chemins de fer du Nord et de Rouen, qui donnent de bons résultats avec du coke de bonne qualité, qui ne feraient qu'un service médiocre ou mauvais avec du coke de qualité inférieure; c'est ainsi que l'on peut considérer, comme ayant un pouvoir de vaporisation largement suffisant pour supporter toutes les qualités de coke que l'on rencontre dans le commerce, les machines mixtes, construites par M. E. Gouin, pour le chemin de fer de Lyon; les machines à voyageurs du chemin de fer de Tours à Nantes, et en

général toutes les machines sorties des ateliers de la maison Sharp, de Manchester, ou construites sur ses plans. Dans tous les cas, il convient de donner à la surface de chauffe et de disposer les organes de l'appareil de tirage de manière à mettre la machine en état de produire un excès de vapeur; car, si l'on a soin de réduire cette production à ce qui est strictement nécessaire pour le service auquel la machine est affectée, on diminue l'effet nuisible du tirage artificiel, qui n'est jamais obtenu, et qui n'est surtout rendu très-énergique qu'au détriment du travail utile de la machine; c'est au profit de l'économie du combustible qu'on renonce à obtenir de la machine toute la puissance dont son générateur de vapeur est capable.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que des moyens de produire la puissance des machines; il faut encore que les moyens de transmission soient suffisants. On n'a pas tout fait lorsqu'on a mis une machine en état de produire sur ses pistons un travail considérable, il faut encore qu'on puisse utiliser ce travail et l'appliquer au travail résistant qu'il doit surmonter. Il faut, pour cela, que l'*adhérence* des roues motrices soit suffisante; cette adhérence résulte à la fois de la pression exercée sur le rail, ou, plus exactement, du frottement que cette pression développe pour empêcher le glissement, et du rayon des roues ou du bras de levier à l'extrémité duquel s'applique ce frottement. Le frottement d'adhérence peut être évalué à 1/3 sur des rails secs, à 1/10 sur des rails humides et glissants, on peut adopter pour le calcul des machines le coefficient 1/6. C'est au moyen de ce dernier chiffre que l'on pourra établir le rapport convenable entre l'adhérence et les organes de la puissance motrice. Dans aucun cas, soit dans les machines à roues indépendantes, soit surtout dans les machines à roues accouplées, on ne doit exagérer la puissance des machines, relativement à l'adhérence; car elles patineraient fréquemment, et subiraient une prompte dégradation. L'adhérence doit être suffisante, même pour le cas où la vapeur agit à pleine pression et avec une tension élevée sur les pistons, pour produire le démarrage; car les rails étant généralement gras et glissants aux points habituels

de stationnement des machines, il arrive souvent que les machines patinent en démarrant; cet inconvénient serait bien plus marqué si l'adhérence normale était déjà trop faible par elle-même.

Lorsqu'on ne peut pas arriver, par la charge des roues, à une adhérence suffisante, il faut augmenter leur diamètre, ce qui, dans certaines limites, est avantageux même pour la puissance des machines: une fois qu'elles sont lancées, on trouve une source d'économie de vapeur dans la vitesse moindre d'oscillation des organes moteurs, et la moindre fréquence des admissions et des échappements de vapeur. On peut citer comme exemple les mamachines à marchandises du chemin de fer du Nord, dont les pistons ont 0^m 38 de diamètre et 0^m 61 de course, et qui ont des roues de 1^m 22 de diamètre; le poids total de 22 à 23 tonnes de ces machines, dont les six roues sont accouplées, est à peine suffisant pour l'adhérence, et il y a tout lieu de croire qu'elles gagneraient en puissance pendant la marche, si le diamètre des roues pouvait être porté à 1^m 40 ou 1^m 50; elles démarreraient avec moins de facilité, par un temps sec, qu'avec les roues actuelles, mais beaucoup plus facilement si les rails étaient gras ou humides; dans tous les cas elles seraient d'un usage plus économique, comme réparation et consommation, car le service de ce chemin exige une vitesse assez considérable, qui peut, dans beaucoup de circonstances, cesser d'être en *rapport* avec le diamètre de leurs roues.

La puissance de la machine se traduit en *vitesse* si l'on donne aux roues motrices de grands diamètres: en *puissance de traction* ou de remorquage des lourds convois, si l'on donne au contraire aux roues motrices de petits diamètres. Il semble au premier abord que l'on pourrait faire varier arbitrairement les éléments qui constituent la puissance d'une machine et qui lui donnent son caractère, pourvu que les rapports que nous venons d'indiquer fussent observés; qu'il serait indifférent que les roues fussent grandes ou petites, la vitesse de translation que l'on s'est proposé de réaliser, pouvant être atteinte moyennant une vitesse de rotation de l'essieu moteur et des roues inversement proportionnelles à leur diamètre. Cela serait vrai théoriquement si la vitesse de rotation des roues, ou

celle d'oscillation des pièces du mécanisme, qui en est la conséquence, ne devait pas elle-même être comprise dans certaines limites; mais il n'en est pas ainsi, et la nécessité d'obtenir une adhérence efficace, ne doit pas seule être prise en considération lorsqu'on fixe le diamètre des roues. Une vitesse de rotation trop grande des roues motrices, des oscillations trop fréquemment répétées des pistons et de leurs accessoires présentent de graves inconvénients; l'inertie des masses en mouvement donne lieu, comme nous le verrons plus loin, à des efforts intérieurs qui fatiguent les pièces et leurs assemblages; les conditions d'admission et d'échappement deviennent mauvaises; la vapeur perd une trop grande partie de sa tension en entrant dans les cylindres; elle détermine une contre-pression trop forte derrière le piston pendant la période d'échappement; l'usure du mécanisme fait des progrès trop rapides, et la machine, en définitive, se trouve placée dans de mauvaises conditions de service. Il est donc nécessaire que le diamètre des roues soit approprié à la vitesse normale de translation des machines, indépendamment de tout autre rapport à établir entre les autres éléments de la machine, entre ces éléments eux-mêmes et ce diamètre.

En observant ce qui a lieu dans l'exploitation des chemins de fer, on reconnait que la vitesse de rotation des roues motrices est dans les conditions les plus favorables lorsqu'elle oscille autour du chiffre de deux tours et demi par seconde; à cette vitesse les organes de la machine n'éprouvent pas une usure trop rapide, l'introduction et la sortie de la vapeur se font dans des conditions assez bonnes; la vitesse de trois tours de roues peut être encore atteinte sans trop d'inconvénient, pourvu qu'elle ne soit pas habituelle.

Nous n'avons pas du reste la prétention de poser là une règle absolue; dans chaque cas particulier il peut y avoir des motifs pour s'en écarter plus ou moins; ainsi, pour les convois de marchandises où l'on a tout avantage à sacrifier la vitesse et la régularité de marche à l'importance des charges remorquées et à l'économie des dépenses, il y a tout avantage à restreindre la vitesse d'oscillation du mécanisme; il peut y avoir au contraire intérêt, pour le transport des voyageurs à grande vitesse, à dépasser la vitesse normale

que nous avons indiquée, car la vitesse de translation à laquelle tout est sacrifié, pourrait, si l'on suivait strictement la règle posée, conduire à des diamètres de roues trop grands pour la fabrication, et à des machines d'une construction difficile et coûteuse ; dans ce cas, on aurait tout avantage à sacrifier quelque chose sur l'entretien et la consommation pour atteindre le but cherché.

Nous avons réuni, dans le tableau ci-joint, les différents diamètres des roues motrices employées jusqu'ici sur nos chemins de fer, les vitesses de translation des machines suivant le nombre de tours de roue effectués en 1″, et les vitesses auxquelles on règle communément la marche de ces machines sur les différents chemins de fer :

DIAMÈTRE DES ROUES.		VITESSES DE TRANSLATION CALCULÉES EN KILOMÈT. A L'HEURE.		VITESSES MOYENNES adoptées pour la marche en service.
En mètres.	En pieds anglais.	A 3 tours par 1″.	A 2 tours 1/2 par 1″.	
	Pieds.	Kilom.	Kilom.	Kilom.
1m 22	4 »	41,4	34,5	25 à 30
1 51	5 »	51,2	42,7	30 à 40
1 68	5 1/2	57,0	47,5	45 à 50
1 83	6 »	61,50	51,5	50 à 60
2 10	7 »	72,5	60,3	60 à 70

Les nombres contenus dans la dernière colonne correspondent aux vitesses de marche réglées par les ordres de service (déduction faite des temps d'arrêt, et du temps perdu pour démarrer et pour arrêter) ; ces vitesses ne sont qu'une moyenne, et comportent des écarts qui rentrent dans les limites des nombres de la troisième colonne ; de telle sorte qu'on peut bien en réalité considérer la règle que nous avons donnée, comme conforme aux résultats de l'expérience.

Les résistances de toute nature qui s'opposent à la marche des convois, croissent très-rapidement avec la vitesse; il faut donc, pour remorquer des charges un peu considérables avec des vitesses un peu grandes, employer des machines très-puissantes. Nous citerons comme exemple les machines du système Crampton qui peuvent atteindre, sur le profil accidenté du chemin de fer du Nord, des vitesses de 100 kilomètres avec une charge de cinq à six wagons à quatre roues, et les machines mixtes récemment fournies par M. E. Gouin pour le service du chemin de Lyon avec quatre roues accouplées de 1^m 80 de diamètre, et montées sous la chaudière de la machine *le Rhône*, qui peuvent facilement remorquer, sur le profil également accidenté de Paris à Montereau, des convois de dix à douze wagons, à six roues, chargés, à une vitesse moyenne de 60 kilomètres à l'heure.

§ 5. — Répartition des points d'appui.

Nous avons indiqué sommairement comment devait être réparti le poids d'une machine sur ses points d'appui, nous reviendrons encore sur cette question lorsque nous traiterons de la *stabilité*; mais la répartition de ce poids n'est pas seule à prendre en considération : la position des essieux, leur écartement, l'influence que cette position exerce sur la répartition du poids, les rapports à établir entre ces divers éléments et le tracé en plan du chemin de fer, méritent une attention toute spéciale. Reportons-nous d'abord à l'origine de la machine locomotive, et indiquons les phases successives par lesquelles a passé la question qui nous occupe.

1° Coup d'œil rétrospectif. A part quelques essais que nous avons mentionnés dans l'introduction, la machine locomotive, à son origine, reposait sur quatre points d'appui seulement (*fig.* 1, 2 et 3, *pl.* 50). Après quelques tâtonnements on était arrivé d'une manière définitive à placer l'essieu moteur à l'arrière (*fig.* 3, *pl.* 51); indépendamment de l'inconvénient qu'il pouvait y avoir à faire attaquer les parties courbes de la voie par les roues motrices, de

faire supporter à celles-ci la pression sur les rails à une grande distance du point d'emmanchement de l'essieu, et de soumettre celui-ci à des causes de rupture plus graves : la position des cylindres à l'avant de la machine était commandée par l'application de la vapeur d'échappement au tirage. La boîte à feu était en porte-à-faux en arrière de l'essieu moteur, ce qui donnait lieu à une mauvaise répartition du poids, rendait les machines instables et empêchait de donner au foyer le développement convenable. Plusieurs constructeurs anglais, et plus particulièrement Stephenson, préoccupés de cet inconvénient, furent bientôt conduits à appliquer aux machines une troisième paire de roues qui fut placée à l'arrière du foyer (*fig.* 4, *pl.* 50), ce qui permit d'augmenter le poids de la machine sans augmenter la fatigue de la voie, et, par suite, de développer la surface de chauffe et la puissance ; néanmoins la question de la préférence à donner aux machines à quatre roues et à six roues fut longtemps débattue ; on allégua en faveur de celle-ci la sécurité pour le cas de rupture d'essieu, et, en définitive, malgré la persistance avec laquelle Bury défendit l'autre système, l'accident du 8 mai 1842, sur le chemin de fer de Paris à Versailles (rive gauche) vint trancher la question en faveur des six roues, et ce système fut même rendu obligatoire, par les règlements de police, dans plusieurs pays et notamment en France. Quoi qu'il en soit, l'adoption des machines à six roues coïncidant avec la nécessité d'augmenter les dimensions principales, elles ont fini par rester sans contestation le seul système employé.

La nécessité d'augmenter de plus en plus la puissance des machines, pour satisfaire aux exigences d'un service croissant, continuant à se faire sentir, un nouveau mode de distribution des points d'appui fut adopté par Stephenson vers 1842. Tandis que certains constructeurs, entre autres Sharp de Manchester, s'appliquaient à augmenter la surface de chauffe, en augmentant le diamètre de la chaudière, la section du foyer et le nombre des tubes, en restant dans les limites ordinaires d'écartement pour les essieux extrêmes que commande le matériel de plaques tournantes existant (*fig.* 1, *pl.* 51), Stephenson augmenta, dans une très-grande proportion, la longueur de sa

chaudière et de ses tubes en reportant le foyer en porte-à-faux au delà de la roue d'arrière (*fig.* 2, *pl.* 51). Dans l'espace de dix années, ce célèbre constructeur avait porté de 2m à 3m 70 le corps cylindrique de sa chaudière, et, quelques années plus tard, il atteignit la limite de 4 mètres. Les machines établies dans ces nouvelles conditions suscitèrent de vives critiques, néanmoins l'autorité du nom de Stephenson les fit adopter sur un très-grand nombre de chemins ; mais, au bout de quelques années, on ne tarda pas à reconnaître que les objections relatives au défaut de stabilité de ces machines, résultant de l'insuffisance de la charge des roues d'avant, ne manquaient pas de fondement ; leur auteur lui-même essaya d'améliorer son système en changeant la position de l'essieu moteur (*fig.* 4, *pl.* 51) ; mais aujourd'hui un système différent a prévalu. Il est bien entendu que nous ne parlons ici que des machines à roues indépendantes ; les machines à roues accouplées sont placées dans des conditions spéciales que nous examinerons plus tard ; dans le cas d'accouplement des six roues, c'est encore au système Stephenson qu'il convient de donner la préférence.

Stephenson avait été conduit en 1846, pour répondre aux objections faites contre la stabilité de ses machines, à mettre l'essieu moteur à l'arrière des deux autres (*fig.* 4, *pl.* 51), de manière à pouvoir reporter une partie suffisante de la charge sur l'essieu d'avant, et afin d'avoir un grand écartement entre les deux essieux les plus chargés ; c'est peut être une idée analogue qui, combinée avec des vues particulières sur l'influence de la position du centre de gravité, conduisit plus tard M. Crampton à proposer, pour la circulation à grande vitesse sur les chemins de fer à voie étroite, une nouvelle disposition représentée (*fig.* 1, *pl.* 53), dans laquelle les roues motrices sont placées à l'arrière du foyer et au-dessus de la plateforme du mécanicien, ce qui permet d'abaisser très-notablement la chaudière.

2° Influence des courbes. — Avant de discuter la question de la répartition des points d'appui, nous avons besoin de faire apprécier l'influence des courbes, plus ou moins prononcées, qui se ren-

contrent dans le tracé des chemins de fer, car elles seules obligent de fixer des limites au nombre et à l'écartement des points d'appui, maintenant surtout qu'on a été conduit, pour simplifier le service, à adopter des plaques tournantes d'un très-grand diamètre, et que leur dimension n'a plus besoin d'être prise en considération.

Si le tracé d'un chemin de fer était exactement rectiligne dans toutes ses parties, on concevrait que les machines et les véhicules de toute nature fussent montés sur des roues à jante *cylindrique*, et que les saillies dont il est nécessaire de les armer pour empêcher la déviation latérale, fussent encastrées exactement entre les deux rails, la voie formant, en quelque sorte, une rainure; mais il n'en est pas ainsi : des courbes d'un rayon plus ou moins faible, qui descend sur les chemins de fer ordinaires jusqu'à 250 mètres dans les changements et dans les raccordements de voie, jusqu'à 150 mètres dans certaines voies de services, viennent créer des obstacles au passage des machines. D'un autre côté, les machines locomotives ne sont pas dirigées par la force motrice qui détermine leur mouvement comme l'est un véhicule remorqué par des chevaux sur une route de terre; elles ne sont pas dirigées par un appareil spécial comme les bateaux ; elles pourraient dévier de la ligne qu'elles doivent suivre, par suite d'inégalités de frottement sur les fusées des essieux, si leurs roues étaient indépendantes et si leurs essieux étaient susceptibles de pivoter; elles ont pour cette cause leurs roues fixes sur les essieux, et les essieux eux-mêmes sont maintenus par la rigidité du châssis dans une position parallèle. Il est donc nécessaire de recourir à un artifice particulier pour faciliter le passage des courbes; cet artifice consiste dans la combinaison du *jeu des saillies*, ou *boudins* des roues, et de la *conicité de la jante*.

Le jeu des boudins varie de 0^m02 à 0^m04 en totalité, c'est-à-dire que, la machine étant placée régulièrement sur la voie, il existe entre le boudin de chaque roue et le bord du rail correspondant un espace libre de 0^m010 à 0^m020 (*fig.* 9 *et* 10, *pl.* 43), suivant que la

liberté de déplacement de chaque point d'appui de la machine sur le rail doit être plus ou moins considérable. La conicité est à la fois le correctif et l'auxiliaire du jeu des boudins ; elle est nécessaire pour empêcher la machine d'être indifférente et de se jeter tantôt à droite, tantôt à gauche dans les lignes droites, et, en même temps, elle compense jusqu'à un certain point, surtout si la machine n'a que 4 roues, les inégalités des parcours à effectuer sur chaque rail pour les roues liées au même essieu, de telle sorte qu'au lieu de glisser dans le sens de la longueur des rails, les roues n'ont plus à subir qu'un glissement peu considérable, résultant du parallélisme des essieux dans le sens transversal à la voie ; la conicité sert en outre, dans une certaine mesure, à combattre l'influence de la force centrifuge qui tend à rejeter la machine vers la convexité de la courbe, et à pousser les boudins au contact des rebords des rails. Le jeu des boudins doit être tel que le rectangle formé par les points d'appui de la machine puisse s'inscrire dans l'intérieur de la rainure formée par l'arête intérieure des rails ; mais comme il ne peut pas être augmenté au delà d'une certaine limite, qui résulte : de l'épaisseur donnée aux boudins, des dimensions restreintes qu'il est possible de donner aux coupures de rails dans les traversées et changements de voie, aux rainures formées par les contrerails des passages à niveau ou des changements de voie, et de divers autres motifs, on est forcé de restreindre les limites dans lesquelles il semble, au premier abord, que l'on pourrait faire varier l'écartement des essieux extrêmes. La conicité est ordinairement fixée à 1/20ᵉ, et c'est seulement sur les chemins de fer tracés avec des courbes de très-petits rayons, qu'il peut convenir de l'augmenter, comme on l'a fait en Amérique, où elle a été portée à 1/10ᵉ, et même à 1/7ᵉ ; il faut remarquer, du reste, que, dans les machines à 6 roues, ainsi qu'on peut s'en rendre compte par un simple croquis, la conicité qui favorise le roulement des roues extrêmes détermine, sur les roues du milieu, des frottements plus considérables que si leur jante était cylindrique. L'adoption de la conicité, ainsi que le mode d'usure des bandages qui se creusent en forme de gorge, ont conduit à donner aux rails une légère

convexité qui remédie aux inégalités de fabrication et de pose de la voie; nous ne faisons également qu'indiquer ce détail sur lequel nous aurons plus tard l'occasion d'insister.

Ces préliminaires posés, il est facile de se rendre compte des motifs qui s'opposent à ce que l'on donne aux essieux extrêmes un écartement trop considérable; mais il serait plus difficile d'établir, par un calcul préalable, quelle limite doit être posée à cet écartement, en raison du jeu des boudins; en effet, si l'on suppose un véhicule à 4 roues placées sur une voie rectiligne, avec un jeu déterminé entre les boudins et les bords des rails, si l'on trace une série de voies courbes sous le véhicule sans le déplacer, on reconnait qu'il arrivera un moment où le boril de ces rails viendra entrer en contact avec le boudin, à une certaine distance du point d'appui de la roue sur le rail; la courbure de la voie ne pourrait pas être portée au delà de cette limite sans flexion des roues ou des essieux. A cette limite, le mouvement est encore rigoureusement possible; mais, dans la pratique, on ne doit pas arriver jusque-là, il faut encore laisser aux roues une certaine facilité de déplacement pour que leur roulement puisse s'effectuer sur des circonférences de rayons proportionnels au développement des rails intérieur et extérieur.

Si la machine est à six roues, en répétant la même construction, on reconnait que le boudin de la roue du milieu, du côté du centre de la courbe, vient très-promptement toucher le rail; si les roues, les essieux et le châssis étaient absolument rigides, le mouvement de déplacement deviendrait impossible dès que cette limite serait atteinte, et elle l'est beaucoup plus tôt que pour le jeu des roues extrêmes.

Il convient de remarquer du reste que, dans la pratique, indépendamment de l'augmentation de largeur qu'on donne à la voie dans les courbes de petit rayon, indépendamment du jeu qu'il est souvent possible de donner aux fusées dans leurs coussinets, le châssis et les plaques de garde ont une certaine flexibilité, de telle sorte qu'en réalité, les machines passent dans des courbes dont l'accès semblerait devoir leur être interdit, mais c'est toujours au détriment de leur conservation.

3° Écartement des essieux. — Les dimensions adoptées pour l'écartement des essieux sont très-variables, ainsi qu'on a pu s'en convaincre par l'examen des planches 50 à 53 inclusivement. La machine à quatre roues que construisait Stephenson en 1832 (*fig.* 3, *pl.* 50), n'avait que 1m 53 d'écartement d'axe en axe, tandis que celle de Crampton a 4m 86; ces deux termes extrêmes sont exagérés, et l'on doit s'appliquer à s'en tenir à une certaine distance, à moins de motifs particuliers.

On peut augmenter l'écartement des essieux extrêmes lorsque l'essieu d'arrière ne supporte qu'une petite partie du poids de la machine et ne joue qu'un rôle accessoire, comme dans l'exemple de la *fig.* 1, *pl.* 51, et des *fig.* 3 et 4, *pl.* 52. La boite à graisse a un jeu assez considérable dans la plaque de garde et l'essieu peut se déplacer et dévier de la direction normale à l'axe de la machine en raison de la courbure de la voie; cette machine jouit alors des propriétés de l'ancienne machine à quatre roues pour la facilité de son passage dans les courbes. Lorsqu'au contraire la machine affecte l'une des dispositions représentées *fig.* 4 et 5, *pl.* 50; 2 et 3, *pl.* 51; 1 et 2, *pl.* 52; 1 et 2, *pl.* 53, il devient impossible de donner un jeu appréciable aux fusées ou aux boites à graisse des roues d'avant et d'arrière, c'est à la roue du milieu qu'il faut tâcher d'appliquer les artifices qui peuvent faciliter le mouvement dans les courbes. Dans le cas où la roue du milieu est seulement une roue portante, les roues motrices étant à l'arrière (*fig.* 4, *pl.* 51, et *fig.* 1, *pl.* 53), on peut donner à ses fusées un jeu assez considérable dans leurs coussinets ou mieux encore aux boites à graisse entre les plaques de garde, et la machine rentre dans les conditions de la machine à quatre roues; lorsque la roue du milieu est la roue motrice, ou lorsqu'elle est accouplée avec la roue motrice, il n'est plus possible de recourir à ce moyen : on réduit d'un centimètre environ l'épaisseur des boudins ou même on les supprime complétement comme l'a fait Stephenson dans un grand nombre de ses machines. Mais quelques personnes ont craint qu'il n'y eût danger à supprimer complétement le boudin des roues du milieu, et l'ont conservé comme un moyen de sécurité en

cas de rupture du bandage ou du boudin des roues d'avant, ou même de déraillement; cette crainte est d'autant plus fondée que ces machines, par leur disposition même, ont plus de tendance au déraillement. On doit donc conserver le boudin des roues du milieu en se contentant seulement de l'amincir pour augmenter le jeu de la voie pour cet essieu en particulier; si l'on supprimait ce rebord, il conviendrait alors, comme nous l'avons fait observer, de rendre la jante cylindrique.

On pourrait supposer qu'il est possible de donner du jeu à la roue d'arrière dans la disposition de la *fig.* 2, *pl.* 51, mais on ne peut pas le faire, car cette roue est, de toutes, la plus chargée, et sa fixité intéresse essentiellement la stabilité de la machine. La roue d'avant ne doit elle-même avoir qu'un jeu très-restreint, si ce n'est complétement nul, car la machine manquerait également de stabilité si elle pouvait jouer d'une quantité appréciable dans ses coussinets.

Il est difficile d'établir une règle pratique pour fixer la limite qu'il convient de donner à l'écartement des essieux; sur certains chemins de fer, malgré le petit rayon des courbes, il peut être nécessaire d'accoupler les six roues pour franchir des rampes d'une forte inclinaison; on sacrifie dans ce cas la conservation des roues et de toutes les pièces qui souffrent au passage des courbes; c'est ainsi que l'on fait travailler des machines à roues accouplées dont les essieux sont espacés de 3^m à 3^m 50, dans des courbes de 350 à 400^m de rayon, qu'on fait passer journellement ces machines dans des changements de voie, sans difficulté apparente, mais non sans qu'il en résulte un surcroît de fatigue et d'usure. C'est ainsi que sur quelques chemins de fer, en vue d'organiser des services à très-grande vitesse, M. Crampton est arrivé à porter à près de 5 mètres l'écartement des essieux d'avant et d'arrière, en donnant au châssis une extrême rigidité; ces dernières machines se fatiguent au passage des courbes et dans les gares; il y avait même lieu de craindre qu'elles fatiguassent la voie dans une certaine mesure; cette crainte ne s'est pas réalisée jusqu'à ce jour, mais les sacrifices qu'entraîne, au point de vue de la construction

et de l'entretien du matériel et de la voie, le service des trains à grande vitesse doivent être mis en regard des avantages qu'en retire le trafic de la ligne.

Lorsqu'on n'est pas dominé par des considérations spéciales, il convient de se maintenir dans des limites restreintes pour l'écartement à donner aux essieux extrêmes, ou plus exactement aux essieux assujettis entre eux à un parallélisme rigoureux. Ces limites sont seulement susceptibles d'appréciation et non de mesure Nous pensons que sur les chemins ordinaires, tracés avec des courbes du rayon minimum de 1,000 mètres, ne descendant que dans des cas exceptionnels à des rayons de 800 mètres et même de 500 mètres aux abords des gares principales, on peut admettre des écartements de 4 mètres pour les machines dont les roues motrices seraient placées à l'arrière du foyer, des écartements de 3^m 50 pour les machines à roues accouplées ayant leurs trois essieux intercalés entre la boîte à feu et la boîte à fumée et assujettis au parallélisme. Si les dispositions de la machine sont telles que la roue d'arrière puisse être modérément chargée et placée à l'arrière du foyer avec une certaine facilité de déplacement, et telles que l'écartement entre les roues d'avant et les roues motrices soit réduit à 2^m50, on peut se donner une assez grande latitude pour l'écartement des essieux extrêmes et le porter à 4^m 50; il résulte du reste de cette disposition, si l'écartement n'est pas considérable, une amélioration marquée des conditions de conservation de la machine et de la voie et surtout de ses accessoires, ainsi qu'une diminution notable des résistances passives au mouvement.

CHAPITRE II.

Stabilité.

Les Anglais caractérisent par l'adjectif *steady* (ferme, assuré, qui ne vacille pas, qui ne roule pas), la propriété qu'ont, dans certains cas, les machines locomotives de marcher sans oscillation ou sans mouvements accessoires apparents, autres que la translation en avant. L'usage a consacré en France, pour exprimer cette propriété, les mots *stable* et *stabilité* qui, sans avoir absolument la même signification que les mots anglais *steady*, *steadiness*, impliquent la notion de permanence, d'invariabilité; nous respecterons cet usage, d'autant plus qu'il serait fort difficile de trouver des expressions plus propres à peindre le fait auquel on les applique.

La stabilité des machines n'est jamais absolue : elle n'est complète, en apparence, que dans des cas exceptionnels et par intervalles ; on observe presque constamment des mouvements d'oscillation des axes principaux de la machine par rapport à l'axe de son mouvement ; mais, dans la pratique, on ne tient pas compte de ces mouvements lorsqu'ils n'ont qu'une amplitude très-restreinte et cessent d'être facilement appréciables, et on déclare une machine *stable* lorsqu'elle n'a qu'une très-faible *instabilité*. On est convenu, dans le but de simplifier l'examen et la discussion des faits, d'adopter quelques expressions empruntées au langage ordinaire pour caractériser ces différents mouvements oscillatoires : on appelle *mouvement de lacet*, le mouvement d'oscillation autour d'un axe vertical, passant par le centre de gravité de la machine ou autour d'un axe quelconque qui lui serait parallèle, et qui, en se combinant avec le mouvement de translation de la machine, lui fait prendre un mouvement serpentant ; *mouvement de galop*, le mou-

vement d'oscillation autour d'un axe horizontal, transversal à l'axe de la voie sur laquelle circule la machine, ou perpendiculaire au plan de symétrie de la machine ; *mouvement de roulis*, un mouvement d'oscillation autour d'un axe parallèle à l'axe longitudinal de la machine ou à l'axe de la voie ; enfin *mouvement de tangage*, un mouvement d'oscillation longitudinale d'avant à l'arrière. Ces différents mouvements se combinent entre eux et avec le *mouvement de translation* de la machine ; mais tout mouvement d'un quelconque des points de la masse peut toujours être ramené à ces mouvements élémentaires.

Le mouvement de translation et le mouvement de tangage sont linéaires ; les mouvements de lacet, de galop et de roulis sont angulaires ou de rotation. A part l'expression de *tangage*, empruntée au Vocabulaire de la marine (balancement d'un vaisseau de l'avant à l'arrière et réciproquement), les expressions de *lacet*, *galop* et *roulis*, sont des images fidèles de ce qui se passe en réalité dans le mouvement d'une machine instable à ces différents points de vue ; on a proposé de substituer l'expression de *recul* à celle de *tangage :* mais elle est encore plus fausse que celle-ci, car la notion de *recul* n'implique pas l'idée d'*oscillation* qui est une des propriétés essentielles de la perturbation qu'il faut dénommer ; nous nous en tiendrons donc, jusqu'à nouvel ordre, au nom de *tangage*, nos lecteurs étant bien avertis du sens que nous lui attachons.

Trois causes distinctes peuvent déterminer des mouvements anormaux, des déviations momentanées et alternatives des différents points de la masse dans le mouvement de translation d'une machine, ou, en d'autres termes, la rendre instable aux différents points de vue que nous avons envisagés. Plusieurs causes spéciales peuvent modifier les conditions de stabilité d'une machine donnée, en atténuer ou même en faire disparaître les effets. Les trois causes perturbatrices sont : 1° le mode de construction et l'état d'entretien de la voie ; 2° le mode de construction et l'état d'entretien des machines ; 3° l'inertie des pièces du mécanisme soumises à un mouvement de rotation ou d'oscillation dans la ma-

chine elle-même ou à un mouvement propre, indépendant du mouvement de translation, et accessoirement les pressions intérieures produites par l'action de la vapeur; les actions perturbatrices peuvent être modifiées par l'écartement des essieux, par la répartition du poids qu'ils ont à supporter, par le mode de construction des ressorts et par l'application de contrepoids, disposés de telle sorte que leur inertie produise des actions contraires à celles des pièces du mécanisme.

C'est l'examen de ces différentes questions qui formera l'objet du présent chapitre; toutefois la question des actions perturbatrices intérieures ayant été traitée d'une manière très-détaillée dans un Mémoire que l'un de nous a récemment publié, sous le titre d'*Études sur la stabilité des machines locomotives en mouvement*, Mémoire qui reproduit tout ce qui avait été fait jusque-là, en complétant, au point de vue théorique et pratique, l'étude de cette question, nous nous contenterons de présenter un résumé de ce travail auquel rien n'a été ajouté à notre connaissance.

§ 1er. — Mode de construction et entretien de la voie.

1° Forme des rails. — Si l'on suppose une machine locomotive, ou tout autre véhicule porté sur quatre roues montées deux à deux sur un même essieu, dans laquelle les deux essieux feraient entre eux un certain angle en venant converger vers un point commun, et dans laquelle les roues auraient des rayons proportionnels à leur distance au point de convergence des essieux, on comprend que cette machine, mise en mouvement, tournera librement, suivant la circonférence d'un cercle dont le centre serait au point de concours des essieux. Si l'on suppose que, les roues conservant respectivement leurs diamètres inégaux, les essieux soient ramenés au parallélisme, la machine soumise à l'action de son moteur se trouvera sous l'influence de deux tendances: le parallélisme des essieux tendra à la faire marcher en ligne droite, tandis que la différence de diamètre des roues tendra à lui faire décrire le même cercle que dans l'hypothèse précédente; en réalité, comme le confirme

du reste l'expérience, la machine suivra une direction curviligne et circulaire, intermédiaire entre la ligne droite déterminée par la position de son axe au départ et la circonférence du cercle qu'elle aurait décrite dans le premier cas. C'est sur ce fait qu'est basé le principe de la conicité des roues que nous avons indiqué : le système proposé en Angleterre, dès l'année 1827, par William-Henry James, de disposer les jantes des roues de wagons en étages successifs, de manière à les faire circuler dans des courbes de petit rayon ; qu'est également basé le système de M. Laignel qui a proposé, en 1829, sous une forme applicable et adoptée avec succès sur les chemins de service, de produire la variation de circonférence en faisant porter les roues extérieures à la courbe sur leur boudin.

Ces préliminaires étant posés, il est facile de se rendre compte de l'influence de la forme des rails sur la stabilité des machines. Lorsque les rails ont la surface de roulement plate, comme on les a fabriqués à l'origine, la machine ayant ses bandages coniques à 1/20e et les rails étant posés avec la même inclinaison, il est impossible que le contact de la roue avec le champignon du rail ait lieu constamment d'un manière régulière ; le rail peut n'être pas exactement symétrique de fabrication et l'inclinaison de sa surface supérieure peut être variable suivant que l'une ou l'autre des deux arêtes est tournée à l'intérieur de la voie, le *sabotage* des traverses ou la plate forme des coussinets peuvent ne pas donner à tous les rails, et même à tous les points du même rail, la même inclinaison, et une inclinaison égale à la conicité des roues. Il peut y avoir, et il y a en réalité, diverses causes qui affectent la régularité de la pose des rails, et la conséquence de ce fait est que les roues ne portent que rarement à plat sur la surface des rails, ainsi qu'on s'en rend compte en examinant le poli qu'ils prennent aux points de contact après un certain temps de service.

Les essieux étant supposés montés bien parallèlement, les roues d'un diamètre égal, sans usure à la jante, il arrivera fréquemment, par le fait même de la conicité, que le contact aura lieu sur des circonférences de rayon différent : plus grand s'il a lieu sur l'arête

intérieure, plus petit s'il a lieu sur l'arête extérieure, et la machine se trouvera évidemment placée dans la condition que nous avons indiquée en second lieu dans nos observations préliminaires. Au moment où une inégalité de cette nature se produira, la machine déviera du côté où le contact aura lieu sur la circonférence la plus petite, et elle sera sollicitée par la même cause jusqu'au moment où, par suite du déplacement de la machine, l'égalité des circonférences de roulement sera rétablie; mais la machine arrivant à ce point avec une certaine vitesse de déviation acquise et se trouvant en outre, par le fait du mouvement de translation, sollicitée à continuer sa course suivant la direction oblique à l'axe de la voie suivant laquelle elle se trouve lancée, ce point sera dépassé; en supposant même qu'aucune nouvelle irrégularité de la pose de la voie ne vienne pas s'ajouter à la première, une nouvelle différence de rayon de roulement s'établira en sens contraire de la précédente, elle aura pour effet d'arrêter la machine dans sa déviation première et de lui imprimer une nouvelle oscillation en sens contraire; et si cette perturbation n'a été causée que par une seule irrégularité de pose de la voie, la machine, après un certain nombre d'oscillations, dont les frottements de toute nature réduiront successivement l'amplitude, reprendra sa stabilité. L'effet que nous venons d'analyser n'aura qu'une conséquence momentanée; mais, en réalité, il est impossible que la voie soit régulièrement posée, et à chaque rail, en quelque sorte, l'arête de contact change de position; le mouvement serpentant ou de lacet peut se perpétuer sous l'action indéfiniment répétée de ces inégalités d'ajustement des rails, en même temps que toutes les autres causes de perturbation viennent se superposer et s'ajouter à celle que nous signalons.

L'expérience a du reste démontré que, toutes choses égales d'ailleurs, la prédisposition au mouvement de lacet était beaucoup plus sensible sur une voie de cette nature que sur toute autre. On a remédié à cet inconvénient en donnant un léger bombement au rail, en décrivant le profil de la surface de contact, avec un rayon de $0^m,450$ à $0^m,220$. Dans les limites d'irrégularité que comporte la pose des rails le contact de la jante conique a tou-

jours lieu très-près du sommet de cette courbe, et la tendance au mouvement de lacet que nous avons signalée disparait. On observe en effet que des véhicules montés avec précision sur des roues neuves et bien calibrées à la jante, ont beaucoup de stabilité tant qu'ils restent placés dans les mêmes conditions.

Nous ferons remarquer du reste, en passant, que le bombement du rail est commandé, dans tout état de choses, par le changement de figure qui s'opère rapidement dans la forme de la jante des roues, par suite des frottements et de l'usure; le bombement du rail est donc motivé par les nécessités de la pratique.

2° Jeu de la voie. — Nous avons eu l'occasion d'indiquer la nécessité où l'on se trouvait de laisser un certain intervalle entre les boudins des roues et les bords intérieurs de la voie; ce jeu est nécessaire pour faciliter le passage dans les courbes. On pourrait, à la rigueur, en se plaçant à ce point de vue exclusif, le supprimer presque en totalité dans les parties rectilignes; mais il en résulterait que la machine n'aurait pas toute la liberté de déplacement nécessaire pour obéir librement aux actions de toute nature qui tendent à produire le mouvement serpentant, et, en particulier, à celle que nous venons d'indiquer; il y aurait une série de chocs des boudins contre les rails, et ces chocs, s'ils n'avaient pas pour effet d'augmenter la tendance au mouvement de lacet et de la rendre plus persistante, auraient au moins pour résultat de la rendre plus manifeste et plus nuisible à la conservation du véhicule qui en ressentirait le contre-coup dans toutes ses parties. C'est ce que l'on remarque, du reste, d'une manière bien prononcée sur les anciennes voies, où le jeu des boudins est restreint à 0m010 ou 0m015 : l'usure des boudins des roues y est plus prononcée et le mouvement de lacet y est beaucoup plus sensible à amplitude égale; la sécurité y est aussi moins grande, car celle-ci ne serait jamais compromise si, dans aucun cas, le boudin des roues n'arrivait au contact du rail.

La régularité de la pose des rails et l'adoption de la forme bombée ne sont pas les seuls moyens d'atténuation de l'action pertur-

batrice que nous venons de signaler; l'écartement des essieux extrêmes tend à en diminuer l'influence. Si l'on se reporte en effet à l'hypothèse que nous avons établie d'une machine à essieux parallèles et à roues inégales roulant sur une surface plane, il est évident que la déviation de la ligne droite sera d'autant moindre que l'écartement des essieux sera plus considérable, car l'effet du parallélisme deviendra plus sensible; quant à l'influence de la charge, portée par les essieux extrêmes, elle paraît assez douteuse, car on a en présence deux frottements dont les effets se contrarient : un frottement de glissement résultant de l'inégalité de développement des roues, un frottement de pivotement dû au parallélisme des essieux qui maintient la machine dans une direction intermédiaire, et ces deux frottements croissent proportionnellement aux pressions exercées au point de contact.

Les explications qui précèdent n'ont pas la rigueur d'une démonstration géométrique; pour analyser avec une exactitude mathématique les actions que nous venons de signaler et la plupart de celles que nous aurons encore à faire connaître, il faudrait entrer dans des développements très-détaillés pour lesquels l'espace nous manquerait; il faudrait de plus pouvoir isoler chacune des causes de perturbation et ses effets, afin de vérifier son influence exacte par voie d'expérience, comme on l'a fait pour quelques-unes d'entre elles. Nous pensons toutefois que ces explications suffiront pour faire apprécier le rôle des actions perturbatrices qui prennent leur origine dans le mode d'établissement de la voie; elles s'appliqueront du reste également aux causes qui sont inhérentes au matériel.

3° État d'entretien de la voie. — Si l'on suppose une voie parfaitement appropriée, par la forme des rails et par la régularité de leur pose dans les coussinets et sur les traverses, à la stabilité des machines en mouvement, il pourra se faire, et il arrivera généralement, d'une manière plus ou moins marquée, que les traverses ne soient pas bien assises sur le ballast et qu'elles aient été écartées de leur position primitive. Si la voie, bien dressée en profil lon-

gitudinal, est mal dressée en plan et que les rails forment une ligne ondulée latéralement, ce que nous avons déjà indiqué comme conséquence de la forme plate des rails et de l'inégalité de pose des voies se reproduira. Au moment où les roues d'avant de la machine atteindront un rail déformé, les roues cesseront de porter sur des circonférences de même rayon, et la machine déviera de sa direction normale pour commencer une série d'oscillations qui se perpétueront si des inégalités semblables se reproduisent d'une manière suivie, elles pourront même prendre une amplitude dangereuse si, par une coïncidence fâcheuse, plusieurs inégalités consécutives sont distribuées de telle sorte que leurs effets s'ajoutent avec une certaine persistance. On observe en effet que, sur certaines parties de voie en mauvais état, dans certaines conditions de vitesse et d'instabilité propre de la machine, le mouvement de lacet devient tellement fort que le mécanicien s'empresse instinctivement de fermer son régulateur pour ralentir. Il y a tout lieu de croire que cet effet est dû surtout à l'accumulation des effets de plusieurs déflexions consécutives du rail. L'instabilité propre de certaines machines suffit, du reste, pour causer des déplacements des traverses et des ondulations de la voie qui, une fois produits, contribuent à rendre le mouvement de lacet plus intense et plus dangereux.

Lorsque la déformation de la voie a lieu dans le sens vertical et que les dépressions ne se correspondent pas d'un côté à l'autre de la voie, celles-ci ne sont pas assez prononcées pour que la machine glisse en masse tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, ce qui donnerait encore lieu au mouvement serpentant ou de lacet; mais si ces dépressions se reproduisent fréquemment, elles tendent à faire pencher la machine tantôt à droite, tantôt à gauche, et cette tendance, favorisée par l'élasticité des ressorts, peut donner lieu à un mouvement de *roulis* sensible, d'autant plus sensible à l'œil que le corps de la machine est monté sur des supports plus élevés ou, en d'autres termes, que son centre de gravité est plus élevé; d'autant plus apparent que les points dont on observe le déplacement sont plus élevés au-dessus du sol; plus apparent, par exem-

ple, pour la partie supérieure de la cheminée que pour sa base. Nous reviendrons du reste sur cette question en traitant de l'influence de la hauteur du centre de gravité sur la stabilité, influence qui consiste plutôt à rendre plus appréciable la mesure des effets produits qu'à produire ces effets ou à en augmenter l'intensité.

Si l'état de la voie, que nous supposons mal entretenue, est tel que, de place en place, des traverses fléchissent à la fois, à leurs deux extrémités, au passage de la machine, la machine s'abaissera et se relèvera successivement de l'avant, et si les transitions ont lieu à peu d'intervalle et d'une manière brusque, et qu'en même temps les ressorts aient une grande flexibilité, la machine éprouvera, d'une manière plus ou moins continue, suivant le degré de permanence de l'action perturbatrice, des oscillations autour d'un axe transversal à la machine et parallèle au plan de la voie; la machine aura dans ce cas un *mouvement de galop* plus ou moins prononcé.

L'écartement des essieux extrêmes et l'augmentation de la charge qu'ils ont à supporter sont des conditions propres à atténuer l'effet des inégalités de pose et des déflexions latérales; le poids total de la machine, qui fait volant, est également propre, s'il est très-considérable, à rendre moins sensibles ces inégalités; mais si la machine ne cède pas aux impulsions qui tendent à la faire dévier à chaque instant, c'est évidemment au détriment de ceux de ses organes qui ont à surmonter les efforts exercés et au détriment de la voie qui peut être soumise à des pressions latérales considérables.

La rigidité des ressorts diminue l'amplitude du mouvement de galop et du mouvement de roulis pour la partie de la machine qu'ils supportent; il est évident du reste qu'à part certaines facilités de déraillement que peut produire le mouvement de galop, lorsque la charge des essieux d'avant est insuffisante, ce mouvement n'exerce aucune influence fâcheuse sur les organes de la machine, si ce n'est sur les ressorts que fatiguent des oscillations continuelles; quant au mouvement de roulis, comme il a plus d'amplitude pour la partie suspendue de la machine, pour la partie

du mécanisme adhérente aux châssis que pour les supports qui suivent, sans amplification possible, les dépressions de la voie, il peut en résulter des torsions, des frottements et de l'usure pour les pièces qui sont à la fois dépendantes des essieux et des châssis, comme les bielles et les barres d'excentrique.

Dans tous les cas, il est nécessaire d'entretenir avec soin la voie et de redresser les inégalités de pose toutes les fois qu'elles se manifestent; dans la plupart des cas on retrouvera, sur les frais d'entretien du matériel, les dépenses que l'on aura dû appliquer à la voie pour arriver à un bon entretien.

Nous avons pris comme point de départ des développements qui précèdent, la *machine à quatre roues;* ils s'appliquent également *aux machines à six roues*, seulement il est plus difficile de suivre exactement pour ces machines le mode d'action des causes signalées; leur jeu est plus compliqué et leur influence est peut-être atténuée dans ses effets par l'augmentation du nombre des points d'appui, mais cette influence n'en est pas moins constante.

§ 2. — Mode de construction et entretien des machines.

1° Défaut de parallélisme des essieux. — Ce que nous avons dit d'une machine mise en mouvement sur une surface plane, dont les essieux sont parallèles et dont les roues sont de diamètre inégal, s'applique inversement à une machine dont les roues seraient de même diamètre et dont les essieux ne seraient pas parallèles; soumise à deux influences contraires, l'une qui tend à la faire cheminer en ligne droite, l'autre à lui faire décrire un cercle dont le centre serait au point de convergence des essieux, elle suivrait une ligne intermédiaire. Si l'on suppose cette machine placée sur les rails, elle tendra sans cesse à dévier de la direction de l'axe de la voie, et cette tendance, venant s'ajouter à toutes les causes qui déterminent le déplacement latéral, pourra devenir, sinon une cause déterminante du mouvement de lacet, du moins une cause d'augmentation de son intensité et de sa permanence;

dans tous les cas elle sera une cause directe et très-sérieuse d'usure des rebords des bandages.

2° Inégalité du diamètre des roues. — Ce que nous avons dit plus haut de l'influence du rail plat inégalement posé et de l'influence des déflexions latérales de la voie, s'applique au cas où les deux roues d'un même essieu n'auraient pas le même diamètre ; il y aurait encore là une cause permanente de déviation et d'augmentation d'instabilité. Dans le cas seulement où tous les essieux d'un même côté présenteraient la même différence de diamètre, l'influence que nous venons de signaler n'existerait plus, la machine se déplacerait tout entière sur le côté jusqu'à ce que la différence fût compensée par la conicité ; mais il n'y aurait aucune tendance à la déviation latérale.

3° Usure des bandages. — Après un certain temps de service les bandages de roues se creusent et forment une gorge qui s'approfondit, de telle sorte qu'après un parcours qui peut varier de 15,000 à 35,000 kilomètres, suivant la qualité du fer, la profondeur totale approche de 0^{m} 010. Si les rails sont plats, l'existence de cette gorge augmente l'effet de la première cause de perturbation que nous avons signalée, elle peut la produire lors même que les rails ont tout le bombement nécessaire, pour peu qu'il y ait quelques défauts de symétrie dans la forme des rails et d'irrégularité dans leur pose ; dans tous les cas, des bandages creux sont dans des conditions plus défavorables que les bandages neufs lorsque la voie n'est pas parfaitement réglée en plan, car de petites déviations de rail produisent des variations plus marquées dans le rayon des circonférences de roulement. L'expérience prouve en effet que le mouvement de lacet augmente avec l'usure des bandages, et qu'il diminue lorsqu'on leur rend leur profil normal en mettant les roues sur le tour. Il est donc nécessaire, abstraction faite de toute autre considération, de ne pas laisser faire de progrès trop considérables à l'usure des bandages et de mettre fréquemment les roues sur le tour, pour éviter le mouvement de lacet

qui est toujours une cause générale de dégradation de la machine; mieux vaudrait encore, et c'est un progrès dont on doit espérer la réalisation par la fabrication des bandages en acier fondu sans soudure, avoir des bandages dont l'usure fût nulle ou insensible.

4° Jeu des boites a graisse. — Le jeu que les fusées des essieux prennent dans leurs coussinets, dans le sens longitudinal, n'est pas précisément une cause de mouvement de lacet, lorsqu'on envisage seulement la question au point de vue de la voie et du véhicule; on conçoit en effet qu'une machine, si l'on fait abstraction des actions intérieures développées par le mouvement du mécanisme et si l'on suppose la voie parfaitement régulière et dressée, les roues bien montées et ayant exactement leur profil normal, puisse marcher sans vaciller, quoique les coussinets et les boites à graisse soient libres dans le sens de la longueur des fusées. Mais pour peu que les roues prennent un mouvement serpentant sur la voie, la machine jouera sur ses supports et sera jetée tantôt à droite, tantôt à gauche; si, en même temps, les plaques de garde ont de la flexibilité, s'il y a du jeu dans les supports de la chaudière, on verra toute la machine prendre un mouvement d'oscillation latérale dont l'amplitude pourra être beaucoup plus considérable que le déplacement alternatif des points de contact des roues sur les rails. C'est ce que l'on observe dans toutes les machines dont le temps de service est trop prolongé; elles ont un mouvement de balancement qui disparait par l'effet d'une simple réparation. Ce mouvement est nuisible parce qu'il accélère la dislocation générale du système, mais s'il n'existe pas de mobilité dans les supports il peut ne compromettre que très-peu la sécurité.

Si les boites à graisse ont en même temps du jeu entre les guides des plaques de garde, l'usure des bandages elle-même coïncidant avec le jeu de la machine sur ses supports, on la voit, lorsqu'elle est lancée à grande vitesse, prendre un mouvement de lacet tel qu'on croit à chaque instant qu'elle va sortir de la voie.

Comme on le voit par les développements qui précèdent, toutes

les causes d'instabilité que nous venons d'énumérer concourent à produire des effets semblables et qui se superposent, de manière à produire en fin de compte une très-grande instabilité, abstraction faite des causes intérieures dont l'action est encore plus marquée.

Ce que nous avons dit s'applique aux véhicules de toute nature, et ce qui en prouve l'exactitude, c'est que les tenders et les wagons eux-mêmes sont affectés comme les machines du mouvement de lacet qui prend souvent des proportions effrayantes. Ce qui démontre également l'influence que nous avons attribuée à chacun des éléments de perturbation que nous avons passés en revue, c'est que l'on arrive à une stabilité de plus en plus grande lorsqu'on fait disparaître le jeu des boites à graisse dans les plaques de garde, le jeu des coussinets sur les fusées, lorsqu'on rend aux bandages leur profil normal, lorsqu'on rectifie le parallélisme des essieux, lorsqu'on améliore l'entretien de la voie, lorsqu'on modifie la forme des rails de manière à leur donner un bombement convenable. Le jeu des boudins, lorsqu'il est réduit à des limites trop étroites, rend plus sensible le mouvement de lacet en marquant par un choc la fin de chaque oscillation; l'élargissement de la voie a surtout pour effet de donner aux roues toute la latitude nécessaire pour que les boudins ne viennent pas frapper le bord des rails; le mouvement de lacet peut être tout aussi considérable, mais il ne se manifeste pas par des effets aussi sensibles.

L'écartement des essieux atténue le mouvement de lacet engendré par des causes inhérentes à la machine, comme celui qui est déterminé par le mode de construction et l'état de la voie; la répartition du poids sur les essieux exerce de même une influence marquée, car elle rend plus ou moins efficace l'écartement des essieux, suivant que les essieux extrêmes sont plus ou moins chargés. C'est du reste une question sur laquelle nous aurons l'occasion de revenir.

5° Hauteur du centre de gravité. — Beaucoup de personnes attachent une très-grande importance à la hauteur du centre de

gravité des machines au-dessus des rails et considèrent cette hauteur comme une cause d'instabilité d'autant plus grave qu'elle est plus considérable. Cette opinion ne peut être absolue; les résultats de l'expérience démontrent que les machines les plus hautes que l'on ait construites présentent beaucoup de stabilité par cela même que les dispositions de mécanisme qui ont fait élever les chaudières sont favorables à la stabilité. Nous essayerons d'établir le rôle que joue la position du centre de gravité dans le mouvement d'une machine, tel que nous l'avons analysé.

Tout le monde sait ce qu'on entend en statique par l'*équilibre stable* ou *instable :* un corps reposant par une partie de sa surface sur un plan horizontal ou incliné est en équilibre stable toutes les fois que son centre de gravité tombe dans le périmètre de la surface de contact; il est instable s'il tombe sur ce périmètre même, de telle sorte que le plus léger déplacement du centre de gravité vers l'extérieur détruise l'équilibre et fasse chavirer le corps. On a pu dire qu'une diligence était plus ou moins instable suivant qu'elle versait avec plus ou moins de facilité, lorsque les deux roues d'un même côté s'enfonçaient dans une ornière profonde à côté d'une chaussée pavée et bombée; on a pu attribuer avec raison cette instabilité au mode irrationnel de chargement des colis sur l'impériale; on peut de même supposer avec raison qu'une machine qui déraille et descend le long du talus d'un remblai, se renverserait plus facilement dans le fossé qu'une autre machine dont le centre de gravité serait plus bas, et il peut y avoir, par ce même motif, un certain intérêt à abaisser autant que possible le centre de gravité des machines; mais ce n'est pas là ce qu'on entend, dans l'art de la locomotion, par le mot de stabilité. Cette question, dont l'intérêt est du reste très-restreint et même contestable, ne rentre pas dans celle que nous traitons dans le présent chapitre. C'est donc ailleurs qu'il faut aller chercher l'influence de la hauteur du centre de gravité sur la stabilité des machines locomotives.

La position du centre de gravité joue un rôle important dans la question des courbes et encore n'est-ce pas au point de vue de la stabilité proprement dite. Lorsqu'une machine parcourt une

courbe, sa masse est sollicitée par la force centrifuge comme elle l'est d'une manière permanente par la pesanteur; le point d'application commun de la résultante de ces deux forces est le centre de gravité. La force centrifuge agit dans le plan horizontal en sens contraire du rayon de la courbe; elle tend à faire porter les boudins des roues sur le rail extérieur, ou, si le jeu est assez considérable, à faire dépasser à la machine la position où la conicité compense la différence de développement des rails et à déterminer des frottements de glissement; elle tend également à déplacer le point où la résultante des forces qui sollicitent les masses élémentaires dont la machine est formée, vient rencontrer le plan de la voie; si la machine chemine en ligne droite ces forces se réduisent à la pesanteur et la résultante est dirigée suivant la verticale du centre de gravité et vient rencontrer le plan de la voie à égale distance des rails; si elle chemine en ligne courbe la force centrifuge intervient et la résultante vient rencontrer le plan de la voie un peu au delà de son axe, du côté de la convexité de la courbe. Cette double action de la force centrifuge a pour effet de produire des frottements, de la résistance au mouvement et de l'usure, et de changer les conditions d'équilibre de la machine sur la voie; mais à aucun point de vue elle ne peut déterminer des mouvements d'oscillation.

En désignant par V la vitesse de translation de la machine, par P son poids, par R le rayon de la courbe qu'elle parcourt, par g la vitesse acquise par un corps tombant dans le vide au bout d'une seconde ($g = 9^{m},80896$), on a pour l'expression de la force centrifuge $\frac{PV^2}{gR}$. Au moyen de cette formule on peut calculer, dans les différentes circonstances où peut se trouver une machine parcourant une courbe, l'intensité de la force centrifuge et la comparer avec la pesanteur pour examiner commment se trouve modifié l'équilibre de la machine sur ses points d'appui. Si l'on suppose une courbe de 500^{m} de rayon, parcourue à la vitesse de 60 kilomètres à l'heure, par une machine dont le centre de gravité soit à 1^{m} 50 de hauteur, ce qui peut être considéré comme un maximum dont les

machines existantes ne présentent peut-être pas d'exemple, on trouve que la résultante viendra rencontrer le plan de la voie à 0m,085 au delà de l'axe de la voie où la verticale du centre de gravité rencontre ce même plan. Ce déplacement du point de rencontre de la résultante des forces qui sollicitent la machine est insignifiant par rapport à la largeur de la voie qui est de 1m,50; l'équilibre ne deviendrait instable (en terme de statique) que si ce déplacement était égal à la demi-largeur de la voie ou 0m,75. Pour arriver à ce terme extrême il faudrait que la vitesse atteignît la limite de 49m,5 par 1″ ou de 170 kilomètres à l'heure, ou bien que le centre de gravité fût relevé jusqu'à 13m de hauteur, toutes choses égales d'ailleurs. Si l'on cherche inversement quel est le rayon de courbe auquel il faudrait descendre pour que la machine, placée dans les conditions que nous avons indiquées, cessât d'être en équilibre stable, ou pour que la résultante des forces qui sollicitent la machine vînt rencontrer le rail, on trouve R = 56m,60. Telles sont les limites auxquelles l'action de la force centrifuge pourrait rendre instable l'équilibre de la machine sur ses points d'appui et au delà desquelles elle *verserait* comme pourrait le faire une diligence qui tournerait trop brusquement en grande vitesse; mais ces limites sont loin d'être atteintes dans la pratique.

L'inconvénient le plus grave de la force centrifuge est de déterminer des frottements qui peuvent devenir très-considérables si les boudins des roues viennent s'appuyer sur le bord des rails, et qui s'ajoutent au frottement dû au parallélisme des essieux. Elle a encore pour effet de modifier la répartition de la charge sur les différents essieux et de reporter, sur le rail extérieur, une partie de la pression qui s'exercerait en ligne droite sur le rail intérieur; mais dans les circonstances habituelles il n'en résulte aucun inconvénient, car, dans l'exemple que nous avons choisi, le poids de la machine étant supposé égal à 22 tonnes, c'est un poids de 1250 kilog. qui se reporte d'un côté à l'autre de la machine.

On peut du reste remédier dans la pratique aux inconvénients qui viennent d'être signalés en relevant le rail extérieur jusqu'à

ce que le plan formé par les points d'appui de la machine soit normal à la résultante de la pesanteur et de la force centrifuge; l'action de celle-ci se trouve complétement annulée. En désignant par α l'angle qui mesure l'inclinaison transversale qu'il faut donner à la voie et qui est égal à l'angle compris entre la verticale du centre de gravité et la résultante, en désignant par h la hauteur du centre de gravité, on a $\text{tang}\ \alpha = \frac{hV^2}{gR}$. Cette formule permet de calculer pour chaque rayon de courbe, en raison du mode de construction des machines et de la vitesse habituelle des convois, la quantité dont il faut relever le rail extérieur. Dans l'exemple que nous avons choisi, la hauteur du centre de gravité étant précisément égale à la largeur de la voie, le relèvement du rail extérieur doit être égal à l'écart de la résultante des forces, soit à $0^{m},085$. Nous ferons remarquer en passant que généralement les ingénieurs qui sont chargés de l'entretien des chemins de fer ne donnent pas dans la pratique, au relèvement du rail extérieur, une hauteur suffisante; cette hauteur doit être calculée sur la vitesse moyenne de marche des trains de voyageurs; ceux-ci sont généralement plus nombreux que les trains à petite vitesse, et, dans tous les cas, il y a beaucoup moins d'inconvénient à laisser frotter les boudins des roues sur le rail intérieur qui leur présente sa convexité, que sur le rail extérieur qui leur présente sa concavité.

La position du centre de gravité peut jouer, dans la question de la stabilité, un rôle que nous indiquerons pour ne rien laisser d'incertain dans l'esprit de nos lecteurs. Si l'on suppose une verge élastique fixée à la machine dans une position verticale, lorsque la machine prendra du mouvement de lacet, surtout s'il y a usure et jeu des boudins contre les rails ou des coussinets sur les fusées d'essieux, cette verge ne restera pas constamment parallèle à elle-même, elle *fouettera* à la fin de chaque oscillation en vertu de l'inertie de sa masse et de son élasticité. La même chose aura lieu pour la machine et l'amplitude de ses oscillations sera d'autant plus grande que le centre de gravité sera plus élevé. Le moment des

quantités de mouvement acquises par ces oscillations sera plus considérable aussi et agira d'une manière plus nuisible sur les assemblages de la machine.

Si les ressorts qui la supportent ont une grande flexibilité, à chaque oscillation la masse inerte de la chaudière, du châssis et de toutes les pièces qui s'y trouvent attachées, tendra à suivre l'impulsion qui lui a été imprimée et il y aura diminution d'un côté, augmentation de l'autre dans les flèches d'équilibre des ressorts de suspension, et par suite la machine pourra prendre un mouvement de roulis sensible, auquel ne participent pas ses supports : ce mouvement de roulis deviendra encore plus apparent, comme nous l'avons déjà fait entrevoir plus haut, si la machine entière, y compris ses supports, prend du roulis par suite de l'état de la voie. Ce mouvement de roulis peut être rapporté à un plan horizontal passant par les ressorts et considéré comme la manifestation des oscillations de ce plan autour de son axe de figure ; si les ressorts sont placés de plus en plus bas, par rapport aux points de la chaudière dont on observe le mouvement, le déplacement linéaire de ces points sera de plus en plus apparent pour une même déviation angulaire du plan des ressorts ; pour une même position des ressorts ce déplacement linéaire sera d'autant plus grand que le point observé sera plus haut, il sera plus grand par exemple pour le sommet de la cheminée que pour la base. En relevant la position du centre de gravité, par suite des combinaisons mécaniques adoptées, il faut changer en même temps la hauteur des ressorts au lieu de les laisser aussi rapprochés que possible des boites à graisse ; mais cela est, avant tout, une question de construction et de disposition de ressorts, à tel point que l'écartement plus ou moins grand des ressorts, suivant que le châssis est extérieur ou intérieur, influe lui-même d'une manière très-notable sur l'amplitude du mouvement de roulis que le corps de la machine est susceptible de prendre. Ce mouvement de roulis de la machine, par rapport à ses supports, a l'inconvénient déjà signalé de produire une torsion dans les pièces qui dépendent à la fois du châssis et de l'essieu moteur ; il faut donc y remédier en donnant aux ressorts de suspen-

sion la rigidité convenable. On s'est aussi préoccupé de la hauteur du centre de gravité par rapport à la hauteur de l'attelage du tender avec la machine, et on s'est appliqué à placer le centre de gravité dans le plan du double attelage d'arrière et d'avant du tender. Tout est pour le mieux si ce rapport s'établit simplement et naturellement, sans nuire à la bonne disposition des organes de la machine ; il y aurait un certain inconvénient à ce que le centre de gravité fût beaucoup au-dessous du plan de l'attelage, car on peut assimiler jusqu'à un certain point la résistance du train à un effort agissant à l'extrémité d'un levier vertical soudé sur un axe horizontal, passant par le centre de gravité et faisant corps avec la machine, et, dans l'hypothèse que nous avons faite, cet effort tendrait à faire basculer la machine de l'avant à l'arrière, à décharger le roues d'avant pour reporter une partie de la charge sur les roues d'arrière ; l'effet inverse aurait lieu si le centre de gravité était *au-dessus* de l'attelage, et l'assiette de la machine sur la voie se trouverait augmentée ; à ce point de vue spécial la hauteur du centre de gravité serait plutôt une bonne qu'une mauvaise chose, si des considérations de cette nature avaient quelque importance dans la pratique.

Peut-être une étude plus approfondie de la question fera-t-elle reconnaître des actions autres que celles que nous venons d'indiquer, influant d'une manière notable sur les conditions de stabilité ; mais jusqu'à ce que cette étude ait été faite, il faut s'en tenir aux résultats de l'expérience qui semblent établir qu'il n'y a pas intérêt évident à sacrifier des dispositions de mécanisme ou d'autres conditions utiles pour abaisser plus ou moins le centre de gravité des machines; entre les limites de hauteur maxima que présentent les machines mises jusqu'à présent en service sur les chemins de fer.

§ 3. — Actions perturbatrices développées par le mouvement des pièces du mécanisme.

Les pièces qui sont animées d'un mouvement propre dans le système de la machine, abstraction faite du mouvement de translation qui la déplace incessamment, sont les essieux et les roues, les bielles, les pistons et tous leurs accessoires, les pompes alimentaires et enfin les pièces de la distribution. Les essieux et les roues de support sont soumis, dans toutes leurs parties, à l'action de la force centrifuge; mais comme leur forme est symétrique par rapport à l'axe de l'essieu toutes les actions se font équilibre, il en résulte seulement des tensions intérieures. Il n'en est pas de même pour l'essieu moteur et les essieux des roues accouplées avec l'essieu moteur, les manivelles n'ont pas leur contrepartie et l'action que la force centrifuge exerce sur leur masse ne peut être surmontée à chaque instant que par la pression des pièces qui emprisonnent les fusées, boites à graisse et châssis et des rails eux-mêmes. Ce défaut d'équilibre devient une cause de perturbation marquée lorsque l'accélération de la vitesse développe la force centrifuge qui croît proportionnellement à son carré. Le piston, dont la masse est inerte, reçoit un mouvement alternativement accéléré et retardé; ces variations alternatives de vitesse donnent lieu à des réactions auxquelles rien ne fait équilibre et qui exercent également une influence perturbatrice; il en est de même des pièces qu'il entraîne dans sa marche. Enfin la pression de la vapeur sur les pistons donne lieu également à certaines réactions qui troublent l'équilibre de la machine. C'est l'étude de ces diverses actions que nous allons présenter d'une manière aussi succincte que possible, en prenant pour point de départ la machine à voyageurs, à cylindres extérieurs, des chemins de fer d'Orléans, du Nord et de Strasbourg, du système de Stephenson.

1° Actions perturbatrices résultant de l'inertie des pièces du mécanisme. — Le poids des pièces dont nous avons à prendre le mouvement en considération n'est qu'une très-faible fraction du poids de la machine, cependant cette fraction n'est pas entièrement

négligeable; il en résulte que lorsque la machine est en mouvement et que ses organes se déplacent en obéissant aux liaisons qui existent entre eux, la position du centre de gravité du système se déplace par rapport à ses points fixes, par rapport au rectangle formé par le châssis, par exemple; mais comme le mouvement de ces pièces n'a lieu que dans le sens longitudinal, le centre de gravité reste toujours compris dans un même plan vertical passant par l'axe de figure de chacune des parties fixes de la machine. Pour simplifier l'analyse que nous avons à faire nous supposerons que ce déplacement du centre de gravité, qui est du reste compris entre des limites très-restreintes, soit complétement nul, et nous supposerons que la machine soit suspendue par ce point à un fil d'une grande longueur; elle sera en équilibre instable autour de ce point et pourra obéir à l'action de toutes les forces et de tous les couples qui seront appliqués à l'une quelconque de ses parties. Nous supposerons enfin qu'on lui ait donné une position initiale telle que son châssis soit horizonzal comme il le serait si elle reposait librement sur les rails.

Nous désignerons par P la pression de la vapeur sur l'un des pistons, celui qui est à la droite du mécanicien placé sur la plateforme et regardant vers l'avant, par α l'inclinaison de la manivelle sur l'axe du cylindre (*fig.* 3, *pl.* 1), par β l'inclinaison de la bielle motrice sur la même ligne, par r le rayon de la manivelle, par L la longueur de la bielle, par P', α', β' les mêmes quantités pour le piston de gauche, par q le poids de la manivelle rapporté au centre du bouton, par q' le poids du piston.

Si nous supposons les organes de la machine en mouvement de telle sorte que les roues motrices fassent par seconde un nombre de tours égal à n, et que la vitesse correspondante du centre du bouton de manivelle a, mesurée en mètres parcourus par seconde, soit égale à v, la valeur de la force centrifuge qui sollicite le poids q sera égale à $\frac{qv^2}{gr}$ (1). Cette force, qui agit dans le sens du

(1) Nous supposons le poids de la manivelle rapporté au centre du bouton

rayon *oa* peut se décomposer en deux autres, l'une verticale, égale à $\frac{qv^2}{gr}\sin\alpha$, et l'autre horizontale, égale à $\frac{qv^2}{gr}\cos\alpha$; on peut immédiatement négliger la composante verticale, qui serait équilibrée par une augmentation de la résistance du rail ou par une partie du poids de la machine, si celle-ci reposait sur la voie, et qui ne peut produire aucune perturbation dans le mouvement; on n'a donc à prendre en considération que la composante horizontale $\frac{qv^2}{gr}$ qui est une des principales causes d'instabilité.

Si l'on considère que pour le piston qui prend un mouvement alternativement accéléré et retardé, la roue étant animée d'un mouvement de rotation uniforme, ainsi que cela a lieu en service, la masse de la machine et du convoi fait volant et compense les inégalités de transmission du travail moteur (page 58), on peut alors considérer l'accélération et la retardation du mouvement comme produite par la réaction de la manivelle sur la bielle; c'est ce qui aurait lieu en effet si le mouvement était imprimé à l'essieu moteur par une courroie enroulée sur une poulie fixée au milieu de sa longueur. Cette variation de mouvement ne peut être produite que par l'application d'une force agissant suivant la bielle *am*; la contre-partie de cette force est au point *a* une pression exercée sur la manivelle, qui agit sur la machine, comme la force elle-même agit sur le piston et qui, la machine étant librement suspendue comme nous l'avons supposé, la sollicite tantôt vers l'arrière pendant une demi-révolution de 90° à 270°, et tantôt vers l'avant pendant l'autre moitié de la révolution de 270° à 90°, les angles étant mesurés dans le sens α, α' à partir de l'axe du piston. Si l'on suppose, pour simplifier le calcul, que la longueur de la bielle est

---

pour simplifier les calculs; cela ne change rien au résultat, car si l'on désigne par p le poids réel de la manivelle, par r' la distance de son centre de gravité à l'axe, par v' la vitesse de ce point, on aura pour la force centrifuge $\frac{pv'^2}{gr'} = \frac{qv^2}{gr}$, car $v' = \frac{vr'}{r}$ et $p = q\frac{r}{r'}$.

infinie ou, en d'autres termes, qu'elle reste constamment parallèle à l'axe du cylindre, on trouve que la valeur de cette force est représentée par l'expression $\frac{q'v^2}{gr}\cos\alpha$ (1).

Cette force peut être remplacée : 1° par une force égale, parallèle et dirigée dans le même sens, appliquée au centre de l'essieu, 2° par un couple ayant pour bras de levier *ok* et ayant seulement pour effet de modifier l'action qui détermine le mouvement de rotation, d'augmenter ou de diminuer la variation de cette action, mais qui n'a aucune influence sur les conditions de stabilité et dont nous ne nous occuperons pas autrement. La force qui sollicite directement l'essieu, ramenée à sa valeur la plus simple par l'hypothèse que nous avons faite sur la longueur de la bielle, présente cette circonstance remarquable qu'elle est représentée par la même expression que la composante horizontale de la force cen-

(1) Le calcul peut s'effectuer de la manière suivante dans le cas le plus compliqué, c'est-à-dire en prenant les choses telles qu'elles sont, la bielle ayant une longueur finie :

Soit π la valeur de cette force, q' le poids du piston et des pièces qui s'y rattachent, u la vitesse du piston à un instant quelconque t, s le chemin qu'il a parcouru à cet instant; à partir de l'origine de la course, on a :

$$s = r + L - (r\cos\alpha + L\cos\beta)$$

et

$$s = r(1-\cos\alpha) + L - \sqrt{L^2 - r^2\sin^2\alpha};$$

d'où l'on tire

$$ds = \left[r\sin\alpha + \frac{r^2\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{L^2 - r^2\sin^2\alpha}}\right]d\alpha;$$

or,

$$\alpha = \frac{vt}{r}, \quad d\alpha = \frac{v}{r}dt \quad \text{et} \quad \pi = \frac{q'}{g}\frac{du}{dt}.$$

$$u = \frac{ds}{dt} = v\left[\sin\alpha + \frac{r\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{L^2 - r^2\sin^2\alpha}}\right],$$

$$du = v\left[\cos\alpha + r\frac{L^2(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) + r^2\sin^4\alpha}{\sqrt{(L^2 - r^2\sin^2\alpha)^3}}\right]d\alpha,$$

$$\pi = \frac{q'v^2}{gr}\left[\cos\alpha + r\frac{L^2(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) + r^2\sin^4\alpha}{\sqrt{(L^2 - r^2\sin^2\alpha)^3}}\right].$$

En supposant $L = \frac{1}{0}$, il reste $\pi = \frac{q'v^2}{gr}\cos\alpha$.

trifuge et de plus qu'elle est toujours dirigée dans le même sens et se compose avec elle par voie d'addition. Il en résulte comme première conséquence qu'on n'est pas obligé d'analyser le mouvement de la bielle motrice, qui participe à la fois du mouvement de la manivelle et du mouvement du piston, ce qui ne pourrait se faire que par des méthodes de calcul d'un ordre beaucoup plus élevé et que nous avons évité d'aborder dans le cours de notre travail.

Si l'on désigne par Q le poids total de la manivelle (celle-ci étant supportée au centre de son bouton) ; de la bielle motrice, des bielles d'accouplement, du piston, de la tige, de la coquille et même du plongeur de la pompe alimentaire lorsqu'il est commandé directement par le piston ; on a pour la valeur totale de la force qui sollicite l'essieu, $\frac{Qv^2}{gr}\cos\alpha$.

Du côté gauche de la machine, en remarquant que $\cos\alpha = \sin\alpha$, on a pour la somme des forces qui sollicitent également l'essieu $-\frac{Qv^2}{gr}\sin\alpha$. C'est l'action de ces forces qui est la principale cause d'instabilité des machines (1). Il nous reste à examiner quelle est la nature des perturbations.

Dans la machine que nous avons prise avec intention comme exemple, on peut supposer, sans s'éloigner beaucoup de la vérité, que l'axe des cylindres est situé dans le plan moyen des roues ou, en d'autres termes, que les différentes forces qui sollicitent l'essieu agissent dans le même plan ; nous montrerons plus tard comment on doit tenir compte de la différence des écartements de ces forces. $\frac{Qv^2}{gr}\cos\alpha$ représente donc une force unique appliquée

(1) L'erreur totale que l'on commet dans la mesure de ces forces est d'environ 1/10e pour les machines à voyageurs, et de 1/20e pour les machines à marchandises, pour certaines positions des manivelles ; elle est nulle pour d'autres positions. Il est inutile d'en tenir compte pour l'application, et nous continuerons à raisonner sur l'hypothèse adoptée de la longueur infinie de la bielle motrice.

à l'extrémité de droite de l'essieu, $\frac{Qv^2}{gr}\sin\alpha$ une autre force unique appliquée à son extrémité de gauche. Sans rien changer aux conditions d'équilibre du système, on peut appliquer au centre de l'essieu deux forces égales et parallèles à $\frac{Qv^2}{gr}\cos\alpha$ et dirigées en sens contraire, de même pour $\frac{Qv^2}{gr}\sin\alpha$; cet ensemble de forces se réduit à deux forces longitudinales qui sollicitent le milieu de l'essieu et dont la résultante est $\frac{Qv^2}{gr}(\sin\alpha+\cos\alpha)$ [1] et à deux couples qui tendent chacun à faire tourner la machine autour de l'axe vertical passant par le centre de gravité qui, par cela même qu'ils sont des couples, tendent seulement à produire un mouvement de rotation; les bras de levier de ces deux couples sont de signe contraire et égaux chacun à $\frac{1}{2}e$, e désignant l'écartement des plans moyens des roues ou des plans dans lesquels sont appliquées les forces perturbatrices, leurs moments seront égaux à $\frac{1}{2}\frac{Qv^2}{gr}e\cos\alpha$ et $-\frac{1}{2}\frac{Qv^2}{gr}e\sin\alpha$, et le moment résultant à

$$\frac{1}{2}\frac{Qv^2}{gr}e\left\{\cos\alpha-\sin\alpha\right\}. \quad [2]$$

Si l'on examine comment varient les valeurs de l'expression [1], au fur et à mesure que l'angle α varie, on trouve que lorsque $\alpha=135°$ et $\alpha=315°$, la résultante est nulle; qu'elle croît par degrés insensibles depuis $\alpha=135°$ jusqu'à $\alpha=225°$, pour décroître ensuite jusqu'à 315°, en restant positive, c'est-à-dire dirigée de l'avant vers l'arrière; qu'elle prend ensuite une valeur négative croissante de 315° à 45° et décroissante de 45° à 135°, point de départ. La machine prendra donc sous l'action de cette force un mouvement d'oscillation qui serait analogue à celui d'un pendule, si le point de suspension n'était pas supposé à une hauteur infinie, qui, par ce motif, est un mouvement rectiligne de va et vient auquel on a donné le nom de mouvement de tangage. Nous

verrons comment il se manifeste dans la réalité lorsque la machine est en mouvement sur les rails. On trouve par le calcul que l'amplitude de cette oscillation est indépendante de la vitesse, qu'elle dépend seulement du poids relatif des organes moteurs et de la machine; en supposant le poids de la machine que nous avons prise pour exemple égal à 21,000^{kg}, on trouve que l'amplitude totale de l'oscillation, de l'avant à l'arrière, est égale à très-peu de chose près à 0^m,01 (1); ces résultats ont été du reste confirmés par des expériences directes dans lesquelles on a fait tourner à vide les roues d'une machine suspendue au moyen de cordages au-dessus du sol.

Si l'on examine de même comment varie la valeur de l'expression [2], lorsque l'angle α varie de 0° à 360°, on trouve que le moment du couple est nul pour les valeurs $\alpha = 45°$ et $\alpha = 225°$, qu'il croît positivement de $\alpha = 45°$ jusqu'à $\alpha = 135°$ pour décroître jusqu'à $\alpha = 225°$ et qu'à partir de ce point il prend des valeurs

---

(1) Soit T le poids de la machine, S l'amplitude totale d'une demi-oscillation, s la distance du centre de gravité de la machine au point mort de l'oscillation et u la vitesse à un instant quelconque t, on a, pour l'expression de la force accélératrice :

$$\frac{T}{g}\frac{du}{dt} = \frac{Qv}{gr}(\sin\alpha + \cos\alpha);$$

on a en outre $\quad t = \dfrac{\alpha}{2\pi n} \quad$ et $\quad v = 2\pi r n;$

par suite $\quad u = 2\pi n \dfrac{Qr}{T}\displaystyle\int (\sin\alpha + \cos\alpha)\, d\alpha,$

et $\quad u = 2\pi n \dfrac{Qr}{T}(\sin\alpha - \cos\alpha);$

or, $\quad u = \dfrac{ds}{dt} \quad$ et $\quad ds = u\,dt.$

On a donc $\quad ds = \dfrac{Qr}{T}(\sin\alpha - \cos\alpha)\, d\alpha,$

$$s = \frac{Qr}{T}\int (\sin\alpha - \cos\alpha)\, d\alpha = -\frac{Qr}{T}(\sin\alpha + \cos\alpha) + c,$$

et $\quad S = \dfrac{Qr}{T}\displaystyle\int_{\alpha=45°}^{\alpha=135°} (\sin\alpha - \cos\alpha)\, d\alpha = -\dfrac{Qr}{T} 2\sqrt{\tfrac{1}{2}} = -0^m,0046.$

négatives croissantes jusqu'à $\alpha = 315°$ et décroissantes jusqu'à $\alpha = 45°$. Ce couple tend donc à faire tourner la machine autour de la verticale passant par son centre de gravité, de gauche à droite pendant que la manivelle décrit la demi-circonférence comprise entre 45° et 225°, de droite à gauche entre 225° et 45°.

Cette action alternative a pour effet d'imprimer à la machine un mouvement de rotation alternatif dont l'amplitude est limitée et qui constitue le *mouvement de lacet*, lorsque la machine est en même temps animée d'un mouvement de translation. Cette amplitude est indépendante de la vitesse et, pour la machine que nous avons prise comme exemple, le calcul (1), confirmé par l'expérience

(1) Soit ω la vitesse angulaire du mouvement de rotation d'un corps assujetti à tourner autour d'un axe fixe, T la force qui le sollicite, f la distance de la direction de cette force à l'axe de rotation, m la masse d'un point quelconque du corps, L la distance de ce point à l'axe de rotation, s l'arc décrit au bout du temps, t dans le cercle dont le rayon est égal à l'unité, s l'amplitude totale d'une demi-oscillation, on a pour l'équation du mouvement

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{Ff}{\Sigma mL^2}.$$

Si l'on suppose que la machine tout entière soit, quant à la valeur du moment d'inertie ΣmL^2, l'équivalent d'un cylindre de même poids dont la longueur $x = 5^m$, et le diamètre $y = 1^m,60$, on aura :

$$\Sigma mL^2 = \tfrac{1}{3}\frac{T}{\pi g}(x^2 + y^2) = 2,92\frac{T}{g}.$$

(T étant le poids de la machine égal à 21,000 kilogrammes.)

On a d'un autre côté :

$$f = \tfrac{1}{2}e, \qquad F = \frac{Qv^2}{gr}(\cos\alpha - \sin\alpha) - \frac{Q}{g}4\pi^2 n^2 r(\cos\alpha - \sin\alpha).$$

On a donc :
$$\frac{d\omega}{dt} = \tfrac{1}{2}\cdot\frac{Qe}{2,92\,T}\cdot 4\pi^2 n^2 r(\cos\alpha - \sin\alpha),$$

ou comme
$$\alpha = 2\pi n t \qquad \text{et} \qquad dt = \frac{d\alpha}{2\pi n},$$

$$d\omega = \tfrac{1}{2}\frac{Qe}{2,92T}2\pi n r(\cos\alpha - \sin\alpha)\,d\alpha,$$

d'où
$$\omega = \frac{ds}{dt} = \tfrac{1}{2}\frac{Qe}{2,92T}r(\sin\alpha + \cos\alpha),$$

et
$$s = \tfrac{1}{2}\frac{Qe}{2,92T}r(\sin\alpha - \cos\alpha) + c.$$

En calculant l'intégrale définie de 135° à 225°, ce qui correspond à une demi-

directe, indique que l'amplitude du mouvement de déplacement d'un point pris sur la traverse d'avant est d'environ $0^m,01$.

Nous avons considéré ces deux mouvements isolément, mais en fait ils se combinent, et un point de la machine, par exemple l'un des angles de la traverse d'avant, décrit une courbe fermée qui s'inscrit dans un rectangle (très-peu différent d'un carré) dont un côté mesure l'amplitude totale de l'oscillation du tangage, l'autre l'amplitude totale de l'oscillation du lacet ; cette courbe est comprise dans un plan horizontal si la composante verticale de la force centrifuge est annulée, mais elle s'incline si la machine est librement suspendue dans l'espace ; cette composante verticale produit alors, comme on l'a en effet observé, un *mouvement de roulis* dont l'amplitude pourrait être mesurée par des calculs semblables à ceux que nous avons reproduits en note.

Pour entrer plus avant dans l'examen des perturbations dont nous venons d'indiquer le principe, nous supposerons que la machine repose sur la voie, mais de telle sorte que les roues motrices soient placées sur des galets d'alimentation (page 146), et nous supposerons en même temps que les frottements des roues d'avant et d'arrière soient nuls, de manière qu'il n'existe aucun obstacle aux mouvements d'oscillation que la machine tend à prendre. Dès que l'on mettra les roues motrices en mouvement, les actions intérieures que nous avons analysées se développeront avec une intensité proportionnelle au carré de la vitesse de rotation des roues; la machine oscillera de l'avant à l'arrière et de droite à gauche dans les limites d'amplitude que nous avons indiquées.

Mais en réalité la machine, qui ne peut avoir ses roues en prise avec les galets et marcher sur place qu'à la condition de rester exactement au point où l'axe de l'essieu moteur et celui des galets sont compris dans un même plan vertical, est maintenue dans sa

---

oscillation de gauche à droite, on a $s = \frac{Qe}{2,92T} r \sqrt{!} = 0^m,0014$; s étant l'arc décrit dans le cercle dont le rayon est égal à l'unité. — La traverse d'avant étant supposée à $3^m,50$ du centre de gravité, on a pour l'amplitude totale du mouvement d'un de ses points $0^m,0098$ ou $0^m,01$ en nombre rond.

position par des cales en bois appliquées aux roues d'avant et d'arrière, et le frottement de glissement au contact des roues de support est suffisant, dans la plupart des cas, pour surmonter l'effet des forces qui tendent à produire l'oscillation transversale. Lorsqu'on mettra les roues motrices en mouvement en donnant un peu de vapeur, la machine ne se déplacera plus en avant et en arrière, à droite et à gauche; mais pour peu que les roues tournent un peu vite on verra se manifester un mouvement général de trépidation dans la machine, produit par les forces perturbatrices dont l'effet ne peut plus se manifester librement. C'est à tel point que dans quelques cas on a été obligé de renoncer à l'usage des galets pour l'alimentation de certaines machines.

Si l'on suppose maintenant la machine attelée à un convoi et en marche, il est également facile de se rendre compte de l'influence qu'exerceront les forces perturbatrices. Si la machine est en marche sous l'action permanente de la vapeur et qu'elle soit arrivée à une vitesse uniforme, l'effort que la résultante des forces qui produisent l'oscillation longitudinale exerce sur elle, lorsque cet effort est dirigé en sens contraire du mouvement de translation, peut être constamment inférieur à l'effort de traction exercé sur la barre d'attelage; celle-ci restant toujours en charge n'éprouvera aucune secousse, aucun choc, si elle est complétement rigide et si les pièces auxquelles elle s'attache sont également rigides. Mais si le train descend une pente ou s'il est peu chargé, ou bien enfin si la vitesse est telle que l'effort dû aux actions perturbatrices l'emporte sur l'effort de traction dû au travail de la vapeur sur les pistons, l'effet inverse aura lieu; à chaque révolution des roues motrices la machine sera sollicitée en arrière et cessera de tirer sur la barre d'attelage, de telle sorte que la masse du train conservant sa vitesse acquise viendra pousser la machine; mais pendant la même révolution, dans sa seconde moitié, la résultante changeant de sens viendra s'ajouter à l'effort de traction, et la barre d'attelage sera de nouveau tirée. Cet effet aura lieu quelles que soient les circonstances de la marche, lorsque le mécanicien fermera le régulateur et que le convoi tout entier ne marchera plus

que par suite de la vitesse acquise qui ne s'amortit que très-lentement, ou par l'action de la gravité s'il est sur une pente rapide. Il se produira donc, comme on l'observe en effet, pour peu qu'il y ait du jeu dans l'attelage, une série de chocs successifs dont l'intensité croîtra très-rapidement avec la vitesse.

Le couple résultant, qui tend à faire osciller la machine autour de l'axe vertical passant par le centre de gravité, exercera son action sur la machine en marche comme lorsqu'elle est en mouvement sur place : seulement le mouvement de déviation de l'axe qu'il tend à produire se combinera avec le mouvement de translation. Si le frottement des roues sur les rails était nul, la machine obéirait librement à cette action perturbatrice et prendrait un mouvement serpentant ou de lacet; tant que le moment des résistances dues au frottement n'est pas dépassé par le moment du couple résultant des actions perturbatrices, l'action de celui-ci a pour effet seulement de produire des efforts de torsion auxquels le châssis obéit plus ou moins, suivant sa rigidité, ou de faire osciller la machine sur ses supports s'il y a du jeu dans les boites à graisse. Mais si la machine, par suite du mode de construction et de l'état de la voie ou par suite de ses propres conditions de construction ou d'entretien, est prédisposée au mouvement de lacet, cette nouvelle action vient s'ajouter aux autres et produit des superpositions d'effets qui peuvent occasionner effectivement le mouvement de lacet des roues elles-mêmes et donner à ce mouvement une amplitude dangereuse.

Le mouvement de tangage et de lacet, ou plus exactement l'action des causes intérieures qui tendent à les produire, a pour résultat de fatiguer et de déterminer l'usure des organes de la machine ; le mouvement de lacet peut, en outre, devenir une cause *d'insécurité*.

2° Causes d'instabilité inhérentes a l'action de la vapeur sur les pistons. — Si le cylindre était à une distance très-considérable de l'essieu moteur, de telle sorte que la bielle pût être considérée comme restant toujours parallèle à l'axe du cylindre, la

pression transmise par cette bielle à la manivelle se décomposerait toujours en une force parallèle à l'axe du cylindre, appliquée au centre de l'essieu et faisant équilible, par l'intermédiaire des plaques de garde et des châssis, à la pression exercée par la vapeur sur le fond du cylindre, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Les choses se passent encore de même lorsque l'on revient aux dimensions ordinaires des bielles; la pression exercée dans le sens de l'axe du cylindre sur l'essieu est toujours égale et directement opposée à la pression exercée sur le fond du cylindre; ces efforts alternatifs de pression et de traction sur le châssis peuvent avoir pour résultat de fatiguer le châssis qui sert d'intermédiaire, ou de faire *claquer* les boites à graisse sur les guides des plaques de garde, s'il existe entre eux un jeu de quelque importance.

En effet en se reportant à la *fig.* 1, *pl.* 3, et aux notations de la page 54, on voit qu'au point m, centre du boulon d'attache de la bielle sur la coquille, il y a équilibre entre la pression exercée sur le piston, celle que transmet la bielle et la résistance des glissières; l'effort transmis par la bielle est donc égal à $\frac{P}{\cos\beta}$ et donne sur le centre de l'essieu un effort de même valeur dirigé suivant ox; la composante de cet effort, suivant l'axe du cylindre, est donc égale à P.

Mais, si au lieu de supposer le cylindre horizontal, comme nous l'avons fait, nous passions à un cas extrême, si nous supposons qu'il soit vertical, comme cela avait lieu dans les premières machines, les ressorts de suspension se trouveront intercalés entre le fond du cylindre et l'essieu et obéiront aux efforts alternatifs de pression et de traction exercés en sens contraire sur l'un et sur l'autre; les deux manivelles, étant à angle droit, il se produira, de part et d'autre de la machine, des effets qui tantôt s'ajouteront et tantôt se contrarieront, de telle sorte, qu'en somme, la machine prendra un mouvement d'oscillation très-marqué, croissant avec la pression de la vapeur et l'élasticité des ressorts et qui constituera le *mouvement de roulis* dans toute sa simplicité. C'est en effet ce qui a été observé sur le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon,

où les premières machines avaient leurs cylindres verticaux, ce qui les avait fait baptiser du nom de *scieurs de long*; lorsqu'on a voulu suspendre les châssis sur des ressorts, en vue d'améliorer leur construction primitive, elles ont pris un tel mouvement de roulis que, dès que la pression de la vapeur était un peu forte, les pistons venaient briser les fonds des cylindres, de telle sorte qu'il a fallu renoncer à ce mode de suspension.

Si les cylindres et les roues motrices d'une machine, construite comme nous venons de l'indiquer, étaient placés à l'avant ou à l'arrière assez loin du centre de gravité, il se produirait un mouvement de galop très-marqué résultant de la coïncidence périodique des pressions, tantôt sur le fond supérieur, tantôt sur le fond inférieur des cylindres; la combinaison des deux mouvements de galop et de roulis donnerait à la machine une allure *déhanchée*.

Cette circonstance ne se rencontre plus dans les machines que l'on construit actuellement, mais souvent on donne aux cylindres une inclinaison qui va jusqu'à 16 degrés. La pression exercée alternativement sur chaque fond d'un même cylindre donne une composante verticale qui tend à faire *rouler* et *galoper* la machine sur ses supports, d'une manière d'autant plus marquée que la pression de la vapeur est plus élevée, que l'inclinaison des cylindres est plus grande, que les ressorts sont plus élastiques. Dans une machine à 4 roues, cette tendance ne serait contrebalancée que par le poids de la machine et par la distance du centre de gravité du corps de la machine à l'essieu moteur, autour duquel le mouvement de galop tend à se produire; dans les machines à 6 roues elle est combattue par la résistance des ressorts d'arrière. Il convient donc, dans tous les cas, de ne pas donner trop d'élasticité aux ressorts dans les machines à cylindres inclinés, encore plus que dans les autres. Dans une machine à quatre roues, on comprend que le mouvement de roulis, que tend à produire le défaut de symétrie des actions exercées de part et d'autre de la chaudière, pourrait se manifester si les ressorts étaient très-flexibles; mais il y a tout lieu d'admettre que, dans les machines à six roues, l'écartement des points d'appui et opposés en diagonale est trop grand

pour que son effet puisse se manifester. Lorsque les cylindres des machines sont intérieurs au châssis et sont peu écartés d'axe en axe, le mouvement de roulis n'a plus aucune importance.

Le mouvement de galop produit par l'inclinaison des cylindres peut s'observer facilement dans les machines à voyageurs du chemin de fer de Rouen, dont les roues d'arrière ne sont pas chargées ou ne le sont que très-peu : en les plaçant sur les galets d'alimentation on voit les plaques de garde des roues d'avant et d'arrière osciller d'au moins $0^m 01$, par rapport aux boites à graisse qui restent fixes.

La pression de la vapeur fait naitre encore une autre perturbation, dont l'influence peut être assez nuisible dans certaines machines chargées d'une manière très-insuffisante sur l'avant, pour qu'elle mérite d'être signalée. Nous avons vu que la pression transmise par la bielle à la manivelle donnait lieu à une pression égale et parallèle appliquée au centre de l'essieu et dont la valeur était égal à $\frac{P}{\cos\beta}$; nous avons indiqué le rôle que jouait sa composante dans le sens de l'axe du cylindre, l'autre composante, dans le sens perpendiculaire à cette direction, est égale à $P\frac{\sin\beta}{\cos\beta}$; elle est exactement égale et de sens contraire à la pression exercée par la coquille du piston au point n et forme avec elle un couple qui tend à faire tourner la machine de l'avant à l'arrière et dont le moment est égal

$$\text{à } P\frac{\sin\beta}{\cos\beta}\times om. \text{ — Or, on a : } L\sin\beta = r\sin\alpha$$

$$\text{d'où } \sin\beta = \frac{r}{L.}\sin\alpha \text{ et } \cos\beta = \frac{1}{L}\sqrt{L^2 - r^2\sin^2\alpha}$$

et $om = r\cos\alpha + L\cos\beta$; le moment de ce couple est donc égal à $Pr\left\{\sin\alpha + \frac{r\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{L^2 - r^2\sin^2\alpha.}}\right\}$ expression qui est exactement la même que celle du couple qui produit le mouvement de rotation.

Pour l'autre côté de la machine on a un couple semblable dont la valeur est $-Pr\left\{\cos\alpha + \frac{r\sin\alpha\cos\alpha^{2}}{\sqrt{L^2 - r^2\sin^2\alpha}}\right.$

L'action de ces deux couples tantôt se contrarie, tantôt s'ajoute ; elle produirait le mouvement de roulis dans le premier cas, si la machine pouvait se prêter au déhanchement nécessaire ; elle tend, dans le second cas, à produire le mouvement de galop lorsque les conditions de construction de la machine sont appropriées à cet effet.

3° Intensité des actions perturbatrices. — Parmi les actions perturbatrices, l'une, celle qui produit le mouvement de lacet, peut, par un concours de circonstances faciles à reproduire, compromettre la sécurité de la marche en donnant au mouvement serpentant de la machine une amplitude considérable. Le mouvement du galop peut également, quoique d'une manière moins directe, aggraver les chances de déraillement qui résultent du mouvement de lacet lorsqu'il prend une amplitude assez considérable sous l'action des causes multiples qui le produisent ; en effet, il a pour résultat de faire osciller l'avant de la machine et de produire périodiquement, à chaque tour des roues motrices, une diminution de la charge des roues d'avant, de telle sorte qu'elles puissent plus facilement monter sur les rails au moment où le boudin vient le frapper brusquement et lorsqu'elles rencontrent un obstacle qu'elles surmonteraient facilement si elles étaient suffisamment chargées. Pour la machine que nous avons prise comme type, le couple produit par la pression sur les glissières, pression qui s'exerce toujours sur la glissière supérieure, peut être ramené à une force appliquée au milieu de cette glissière, l'axe de l'essieu étant considéré comme fixe ; dans les circonstances normales de travail de la vapeur la valeur de la résultante varie de 700 à 1,100 kilogrammes, tandis que la charge des roues d'avant est, dans l'état normal et par suite du porte-à-faux du foyer, d'environ 6,000 kilogrammes. Pour peu que le mécanicien, dans le but d'augmenter l'adhérence, cherche à augmenter la charge des roues motrices en serrant les écrous de leurs ressorts de suspension, la charge des roues d'avant se trouvera diminuée et, en définitive, leur pression sur le rail pourra être réduite à 3,000 ou 4,000 kilogrammes, ce qui est tout

à fait insuffisant, si la machine est susceptible de prendre un mouvement de lacet très-marqué. On serait ainsi amené à craindre que, toute réserve faite pour l'état de la voie, les déraillements spontanés qu'ont éprouvés plusieurs machines construites sur ce type, ont eu pour cause additionnelle le mouvement de lacet et l'insuffisance de la charge des roues d'avant, aggravée par le mouvement de galop. On a été conduit en effet à donner une grande rigidité aux ressorts d'avant et d'arrière, afin d'empêcher l'effet des coïncidences d'oscillation verticale de l'avant et d'oscillation latérale; on a même été conduit à limiter par des arrêts, au-dessous de ce qui convient à la puissance des organes, la tension des ressorts et l'adhérence des roues motrices.

Le mouvement de roulis occasionné par les actions perturbatrices intérieures, s'il pouvait se développer d'une manière assez marquée, influerait sensiblement sur la conservation de certaines pièces en déterminant des torsions et des frottements latéraux; mais on peut ne pas en tenir compte, on en rendra les effets insensibles en donnant aux ressorts une rigidité suffisante.

Les forces qui produisent le lacet et le tangage ont des effets destructeurs très-marqués. Le mouvement de lacet, produit ou favorisé par leur action, détermine des frottements transversaux des roues sur les rails et une usure inégale des bandages; pour les roues motrices cette usure est inégale; ces effets sont certains, car l'application des contre-poids, dont nous parlerons plus loin, a suffi pour les faire disparaitre en même temps que le mouvement de lacet. Leur action destructive la plus grave s'exerce plus particulièrement sur le châssis qui prend du gauche et sur les pièces qu'il porte, dont le montage est faussé, sur les assemblages de toute nature, sur la liaison de la chaudière et des cylindres avec le châssis, sur l'attelage du tender, sur les manivelles, etc. Pour faire apprécier d'une manière plus sensible ces effets, il nous suffira de donner un tableau indiquant, pour les principales positions de la manivelle et pour différentes vitesses, l'intensité de la résultante des forces appliquées suivant l'axe de la machine et qui produisent le mouvement de tangage. Des nombres compris dans ce tableau

sont applicables à la machine déjà prise pour exemple ; — *n* indique le nombre de tours des roues motrices par 1″ α.

Valeur de l'angle de la manivelle de droite.	Valeur de la résultante qui tend à produire le mouvement de tangage.		
α	$n=2$	$n=3$	$n=4$
	kilog.	kilog.	kilog.
0°................	—1104,4	—2484,8	—4417,6
45°................	—1561,2	—3519,0	—6244,8
90°................	—1104,4	—2484,8	—4417,6
135°................	0	0	0
180°................	+1104,4	+2484,8	+4417,6
225°................	+1561,2	+3519,0	+6245,8
270°................	+1104,4	+2484,8	+4417,6
315°................	0	0	0

Le signe + indique les efforts dirigés de l'avant vers l'arrière. Les vitesses de rotation pour lesquelles les calculs ci-dessus ont été faits correspondent, en mètres parcourus par seconde et en kilomètres parcourus par heure, aux nombres suivants :

Nombre de tours par 1″.......	$n=2$	$n=3$	$n=4$
Vitesse en mètres par 1″.......	$10^{m}56$	$15^{m}84$	$21^{m}12$
d° en kilomètres par heure.	38^{kilom}.	57^{kilom}.	76^{kilom}.

Ces nombres devraient être doublés si on reproduisait le calcul pour une machine à marchandises, à cylindres extérieurs et à 6 roues accouplées, car le poids de l'attirail moteur est double à peu près du poids qu'il atteint dans la machine à voyageurs.

Ces nombres permettent également d'apprécier l'intensité des actions qui tendent à faire osciller latéralement la machine, car il suffit de les multiplier par la moitié de la distance d'axe en axe des cylindres pour avoir le moment du couple résultant.

4° Moyens employés pour détruire l'instabilité propre des machines. — On s'est beaucoup préoccupé des moyens de rendre aux machines la stabilité que leur avait fait perdre l'adoption du

système des cylindres extérieurs qui avait complétement la vogue, il y a quelques années à peine, et surtout l'adoption du système des longues chaudières avec foyer en porte-à-faux de Stephenson. C'est depuis peu de temps seulement que l'appréciation exacte des causes d'instabilité, que nous venons d'analyser, a permis d'arriver à leur neutralisation rationnelle et complète par des moyens d'une grande simplicité pratique. C'est du reste uniquement au mouvement de lacet qu'on s'était appliqué à remédier.

On a cherché à gêner les oscillations latérales de la machine en la serrant fortement contre le tender avec un ressort de traction très-rigide et une barre d'attelage à double vis. Ce moyen ne manque pas d'efficacité pour les machines légères, lorsqu'on a soin de ne pas employer des tampons élastiques dont les effets se contrarient. On a essayé un appareil spécial, nommé *antilacet*, composé de deux plongeurs fixés chacun d'un côté de la machine par sa tige et mobiles dans un presse-étoupes fortement serré, attachés au tender ou *vice versâ* ; ces appareils ne peuvent jouer qu'en déterminant une résistance que l'on règle à volonté et qui contrarie d'une manière permanente, et quel que soit le sens du mouvement du plongeur, la tendance à l'oscillation de la machine. Le serrage du tender, l'emploi de l'*antilacet* ne peuvent que gêner la manifestation du mouvement de lacet, mais non pas faire directement équilibre aux forces qui le produisent. Nous ferons remarquer du reste que, s'ils ne peuvent pas empêcher complétement les effets apparents du mouvement de lacet qui trouve toujours dans la flexibilité du châssis le moyen de se manifester, ils peuvent, moyennant un serrage convenable, annuler les effets extérieurs du mouvement de tangage ; mais ils ont l'un et l'autre l'inconvénient d'augmenter considérablement la longueur de la base de la machine, à laquelle se trouve incorporé le tender et de la placer dans de mauvaises conditions pour l'entrée dans les courbes ; l'antilacet ne tarde pas à prendre la position moyenne qui convient au rayon de la courbe; mais à l'entrée, s'il n'y a pas un raccordement parabolique entre la ligne droite et l'axe de cercle, il place la machine dans des conditions défavorables.

On s'est appliqué en outre à obtenir la stabilité en augmentant l'écartement des essieux extrêmes et la charge qu'ils ont à supporter; on a augmenté ainsi le moment de la résistance due au frottement transversal des roues sur les rails dans les courbes et on l'a fait prédominer largement sur le moment des actions perturbatrices. Ce moyen a du reste pour lui l'avantage de combattre l'influence des causes d'instabilité inhérentes à la voie ou au mode de construction et à l'état d'entretien de la machine; mais, comme les précédents, il s'oppose aux effets sans combattre la cause et de plus il n'exerce aucune influence sur le mouvement de tangage. On a en outre pensé qu'il y avait avantage pour la stabilité à placer l'essieu moteur à l'arrière de la boîte à feu; cet avantage est évident pour le mouvement de galop; il l'est moins pour le mouvement de lacet, bien qu'il semble, jusqu'à un certain point, que plus l'essieu auquel s'appliquent directement les forces perturbatrices est loin de l'essieu d'avant qu'il faut empêcher de marcher en serpentant, moins il peut être affecté par l'action de ces forces. La machine Crampton peut être considérée comme l'exagération de ce système; cette machine, par sa large base (4^m 85), par la forte charge que porte ses roues extrêmes, conserve une stabilité remarquable dans toutes les circonstances où elle se trouve placée; mais il est évident qu'elle souffre elle-même. S'il convient en effet qu'une machine n'obéisse pas trop facilement aux inégalités transversales de la voie, en se jetant de côté et en se mettant à osciller toutes les fois que les roues rencontrent une *bosse*, il faut qu'elle puisse obéir, dans une certaine mesure, à ces inégalités, sans exercer sur les rails des pressions qui peuvent les écraser ou les rompre; il faut également que le parallélisme des essieux ne produise pas une trop grande résistance au passage dans les courbes. Il y a tout lieu de croire que, si cette disposition reste en usage, ce sera à la condition d'en faire une machine à quatre roues, en réduisant à la fois le poids total et l'écartement des essieux.

La véritable solution de la question de la stabilité, quant à la neutralisation des actions perturbatrices engendrées par le jeu des organes de la machine, se rencontre dans l'application des

contre-poids. Depuis longtemps les constructeurs, et Sharp et Roberts en première ligne, ont appliqué des contre-poids sur les roues motrices; cette pratique était plus ou moins basée sur l'étude rationelle des faits que nous avons analysés en détail; mais ce qu'il y a de certain, c'est que, jusqu'à ces derniers temps, les personnes qui s'y conformaient le faisaient instinctivement et par imitation; on comprenait avec plus ou moins de précision qu'il fallait combattre l'effet de la force centrifuge et on appliquait, à l'opposé des manivelles, des contre-poids égaux ou équivalents, suivant leur position, au poids des parties tournantes de la machine, et, pour en déterminer les dimensions, on mettait les roues motrices sur les pointes d'un tour, en augmentant le contre-poids jusqu'à ce qu'il fît équilibre au poids de la manivelle et de la bielle suspendue par sa petite tête à un point fixe qui représentait la coquille du piston.

George Heaton, qui a pris un brevet en Angleterre, le 9 novembre 1847, paraît avoir senti le premier la nécessité d'équilibrer également toute la partie de l'attirail animée d'un mouvement rectiligne alternatif; mais il est douteux qu'il se soit bien rendu compte de la nature même des actions perturbatrices; son système consiste à faire osciller une masse suspendue à une tige d'une certaine longueur ou guidée par des glissières, en sens contraire du piston, en la reliant par une bielle semblable à la bielle motrice et par une fausse manivelle, ces contre-poids représentant exactement le poids de l'appareil en mouvement rectiligne. Plus tard M. Nallau, ingénieur allemand, fit connaître dans une note insérée en 1848, dans le journal des chemins de fer de Stuttgardt, la cause exacte des actions perturbatrices, et fit voir qu'on pouvait la détruire par l'application de contre-poids. Il est à remarquer toutefois qu'il s'est arrêté dans la voie qu'il avait ouverte en établissant en quelque sorte un équilibre moyen. M. Le Chatelier, notre collaborateur, a complété ces recherches et fait voir, dans son Mémoire publié au commencement de l'année 1849, qu'on pouvait arriver à l'équilibre exact, au moyen d'un contre-poids placé sur chaque roue, des actions perturbatrices qui produisent les mouvements de tangage et

de lacet. C'est du reste ce Mémoire qui a déterminé l'adoption rationnelle des contre-poids sur nos chemins de fer où elle est devenue à peu près générale; Le procédé de M. Heaton n'a pas reçu, que nous sachions, d'application pratique, il ne dispenserait pas du reste d'équilibrer le moyeu ou les manivelles par un contre-poids ordinaire; et, dans la plupart des cas, il nécessiterait une complication coûteuse et gênante de mécanisme.

Nous avons supposé, dans la machine que nous avons prise pour exemple, que toutes les masses mises en mouvement avaient leur centre de gravité dans le même plan et que ce plan était le plan moyeu des roues; s'il en était ainsi, il suffirait d'appliquer, entre les rayons et contre la jante, un bloc de fonte dont le mouvement, par rapport à l'axe de l'essieu, serait égal à la somme des mouvements du moyeu servant de manivelle et de tout l'attirail mobile (bielle, piston, tige, coquille, etc.) supposé suspendu au bouton de la manivelle. Mais il n'en est pas ainsi : les différentes masses qu'il faut équilibrer ou qui forment contre-poids, ont leurs centres de gravité dans des plans différents et il faut tenir compte de leur écartement pour le mouvement de lacet; ces différences d'écartement sont souvent considérables, notamment pour les machines à cylindres intérieurs. On y parvient facilement en remarquant que la force perturbatrice, due à chaque pièce, peut être considérée comme la résultante de deux composantes placées chacune dans les plans des deux roues; on fait pour un côté de la machine la somme des composantes dans chaque roue et on applique le contre-poids qui lui fait exactement équilibre à l'opposé de la manivelle correspondante; on fait le même calcul pour l'autre côté de la machine et on a ainsi dans chaque roue deux contre-poids inégaux que l'on compose en un seul intermédiaire d'après les règles ordinaires de la statique. Nous renverrons du reste, pour les détails du calcul et de l'application, au Mémoire de M. Le Chatelier que doivent consulter toutes les personnes qui ont à faire l'application pratique des contre-poids.

Dans les machines à cylindres extérieurs avec roues accouplées de petit diamètre, il ne suffit pas généralement de garnir complète-

ment en fonte l'espace compris entre trois ou quatre rayons consécutifs, il faut reporter une partie du contre-poids sur l'une des roues accouplées, ce qui n'a d'autre inconvénient que d'augmenter un peu le travail de la bielle. Dans les machines à cylindres intérieurs et à roues accouplées l'appareil d'accouplement peut être disposé, moyennant un calage convenable des moyeux sur les portées des essieux, de manière à former contre-poids ; on y ajoute au besoin un contre-poids additionnel sur la roue motrice.

Nous n'insisterons pas davantage sur ce sujet et nous pensons que ce qui précède suffira pour que dans chaque cas particulier on puisse apprécier quelle influence exercera sur la stabilité d'une machine la disposition de ses organes.

§ 4. — Résumé.

Nous avons essayé, dans les trois paragraphes qui précèdent, de mettre en lumière toutes les causes qui concourent à donner de l'instabilité aux machines ; dans quelques cas nous avons pu établir d'une manière rigoureuse la cause et le mode d'action des perturbations, sans pouvoir toutefois démontrer avec la même rigueur la manière dont cette action devait affecter le mouvement effectif de la machine ; dans d'autres cas, nous avons seulement présenté des aperçus qui pouvaient tenir lieu plus ou moins de démonstration, lorsque nous ne pouvions pas analyser géométriquement et d'une manière rationnelle l'analyse des causes d'instabilité ; on relèvera peut-être quelques considérations erronées, mais nous avons pensé qu'il était de notre devoir d'entrer aussi avant que possible dans la question, qui n'a été qu'ébauchée pour ce qui concerne l'objet des deux premiers paragraphes. Ce que nous désirons, c'est que notre exemple puisse provoquer des travaux sérieux, qui mettent aussi complétement que possible en évidence les causes de perturbation qu'on n'a fait qu'entrevoir et apprécier d'une manière plus ou moins vague.

Si nous jetons un coup-d'œil en arrière sur ce que nous avons dit au sujet de l'instabilité, nous verrons que les mouvements anormaux qu'une machine peut prendre, indépendamment du mouve-

ment normal de translation, se réduisent à quatre : 1° un mouvement de va-et-vient dans le sens du mouvement de translation de la machine, qu'on doit attaquer le plus près possible de son origine et qu'on peut neutraliser entièrement par l'application des contre-poids ; 2° trois mouvements de rotation autour de chacun des trois axes principaux de la machine, le mouvement de *galop* qui peut être réduit à des proportions inoffensives par une rigidité convenable des ressorts de suspension et une bonne répartition des points d'appui, pourvu que l'axe des cylindres ne soit pas trop fortement incliné, et par la répartition de la charge sur les différents essieux ; 3° le mouvement de *roulis* qui, dans les circonstances habituelles de la pratique, n'a qu'une importance très-secondaire et qui exige seulement une certaine rigidité des ressorts de suspension, 4° et enfin le mouvement de *lacet*. Ce dernier mouvement résulte de causes multiples inhérentes à la voie, au montage de la machine et à son état d'entretien, à la disposition et au poids de ses organes moteurs ; il est incontestable que les effets de ces diverses causes se superposent, car sans cela on n'expliquerait pas l'amplitude qu'il peut prendre dans certaines circonstances, au point de déranger l'alignement des rails en déplaçant les traverses et au point d'occasionner des déraillements ; on sait du reste, comme nous l'avons déjà dit, que le mouvement de lacet diminue lorsqu'on améliore la forme des rails et qu'on les écarte d'une quantité suffisante, lorsqu'on améliore l'entretien de la voie, lorsqu'on rectifie le montage des essieux et lorsqu'on répare les machines et spécialement leurs bandages, lorsqu'on équilibre les pièces du mécanisme, lorsqu'on modifie le mode de répartition de la charge sur les essieux.

Aucune des précautions que nous venons d'énumérer ne doit être négligée et, par leur ensemble, on peut arriver à un degré de stabilité qui ne laisse rien à désirer au point de vue de la sécurité et de la conservation du matériel. Les constructeurs et les ingénieurs qui dirigent l'exploitation des chemins de fer ne devraient jamais les perdre de vue.

On ne doit pas conclure de ce que nous avons dit plus haut que

l'application rigoureuse des contre-poids doit rendre indifférent sur le choix d'un système de machines, qu'il suffit de disposer les diverses parties d'une machine de telle sorte que l'écartement des essieux assujettis au parallélisme soit compris entre certaines limites appropriées au rayon des courbes dans lesquelles elle doit circuler, que le centre de gravité soit placé, par rapport aux essieux, de manière que chacun d'eux ait à supporter la charge qu'il convient de lui donner et enfin que les organes du mécanisme soient convenablement équilibrés. Pour des machines à roues indépendantes on peut placer indistinctement les cylindres à l'intérieur ou à l'extérieur et profiter, comme on l'entend, des avantages propres à chacun de ces systèmes; mais, pour les machines à marchandises, on doit donner la préférence aux cylindres intérieurs qui permettent d'équilibrer rigoureusement l'attirail moteur au moyen de l'appareil d'accouplement; si les cylindres sont extérieurs, on est obligé de donner aux boutons des manivelles des porte-à-faux considérables et par suite les contre-poids atteignent des dimensions énormes, car ils doivent équilibrer simultanément l'appareil moteur et l'appareil d'accouplement, et les boutons de manivelle résistent difficilement aux actions et aux réactions qu'ils ont à supporter. En outre, on ne peut pas, lorsque les cylindres sont extérieurs, à moins de leur donner une inclinaison considérable, arriver à une répartition convenable du poids sur les roues, si l'on veut accoupler seulement les roues d'avant avec les roues motrices et réduire les roues d'arrière à un rôle secondaire en ne leur donnant qu'une faible partie de la charge à supporter.

CHAPITRE III.

Dimensions principales des Machines.

Nous avons réuni dans un même tableau les dimensions principales de la plupart des types de machines employées sur les chemins de fer français. Ce renseignement suppléera à l'insuffisance des indications que nous avons données et qui nous restent à résumer pour les conditions générales de construction des machines et au vague dans lequel nous avons dû nécessairement nous maintenir en traitant une question qui se complique d'éléments très-variés et que l'on peut en quelque sorte regarder comme neuve; en effet, chaque ingénieur, chaque constructeur s'est posé des règles, s'est fait un système pour son propre usage, sans qu'une discussion générale soit venue jusqu'ici poser une ou plusieurs formules pratiques appropriées aux différents cas que l'on peut rencontrer; nous n'élevons donc pas la prétention d'avoir résolu la question, nous avons cherché seulement à préparer quelques éléments pour la solution dont elle peut être susceptible dans l'état actuel de l'industrie des chemins de fer, et l'un de ces éléments est la réunion dans un tableau synoptique d'un grand nombre de données numériques. Nous ferons précéder ce tableau de la nomenclature des machines qu'on y voit figurer, complétée par quelques observations sur les qualités et les défauts de chaque type; nous supposerons ces diverses machines exactement équilibrées par des contre-poids et nous ferons, par conséquent, abstraction de la part d'instabilité inhérente au jeu des pièces qui, dans quelques-unes de ces machines, était très-marquée avant leur application.

N° 1. — Sharp et Roberts. 1840. — Ce type, quoique très-ancien et d'une puissance inférieure à celle des machines actuelles, mérite d'être étudié; il est encore en service sur beaucoup de

chemins de fer où la bonne disposition de toutes ses parties et sa solidité l'ont fait résister au temps. Sharp lui-même l'a conservé dans la plupart de ses détails. Il a été décrit par M. Félix Mathias : *Etudes sur les machines locomotives de Sharp et Roberts*, 1844. Voir les planches d'ensemble 54, *fig.* 1 *et* 2, *et* 55, *fig.* 1.

N° 2. — BUDDICOM. 1845. — M. Buddicom a introduit en France, à l'époque de la construction du chemin de fer de Paris à Rouen, un type particulier de machines à voyageurs dont nous avons décrit la plupart des pièces. Ces machines se font remarquer par la simplicité de leur construction, par la facilité et l'économie des réparations et par leur poids qui est de 12 tonnes 1/2, sans charge. Les premières machines de M. Buddicom avaient des foyers trop petits pour le combustible employé en France, mais elles ont fait et font encore un excellent service avec du coke anglais de très-bonne qualité. Les machines que ce constructeur a fournies plus tard au chemin de Rouen lui-même, aux chemins du Havre, d'Orléans à Bordeaux et d'Amiens à Boulogne, ont eu leurs foyers agrandis, ainsi que leurs cylindres. C'est à ce type modifié que se rapportent les détails que nous avons donnés dans le livre II et les chiffres consignés dans la deuxième colonne du tableau. Ces machines peuvent être considérées, par la disposition de leur châssis, par la répartition du poids sur les essieux et par la simplicité de chaque pièce prise isolément, comme un bon type de machines à cylindres extérieurs ; seulement la position des cylindres qui est combinée de manière à diminuer le porte-à-faux sur les côtés et en avant de l'essieu antérieur et celle du tiroir qui est en dessus, n'a pas permis jusqu'ici de leur appliquer convenablement la détente variable au moyen de la coulisse de Stephenson ; l'inclinaison des cylindres leur donne en outre une tendance marquée au mouvement de galop. (*Fig.* 2, *pl.* 55 ; *fig.* 1, 2, *pl.* 56 et 57.)

N° 3. — NORD, VOYAGEURS, 1846. — Ces machines sont celles

qui ont été construites en France sur les plans de R. Stephenson, pour le service des voyageurs. Elles sont à cylindres extérieurs et châssis intérieur; les trois essieux sont intercalés entre la boite à feu et la boite à fumée. (*Fig.* 1, *pl.* 58; *fig.* 2, 3, 4, *pl.* 59.)

Ces machines avaient des foyers trop restreints pour le coke de qualité médiocre qu'elles avaient à consommer au début de leur service; l'amélioration très-considérable qu'on a obtenue dans la fabrication du coke, les place actuellement dans des conditions de vaporisation suffisantes à la rigueur, mais qu'il y aurait cependant intérêt à rendre plus favorables. La position des essieux et celle du centre de gravité ne permet pas, dans ces machines, de répartir convenablement le poids et de donner simultanément à l'essieu d'avant et à l'essieu moteur une charge suffisante; on les modifie en reportant le troisième essieu à l'arrière et en reculant l'essieu moteur de 0^m 40 environ; cette modification jointe à l'application des contre-poids les place dans de bonnes conditions de stabilité. (Voir *fig.* 1, *pl.* 60.)

N° 4. Nord, *mixte;* 1849. — Les dimensions des cylindres de ces machines (n° 3) étaient un peu fortes pour le diamètre des roues motrices, avant qu'on eut changé la position de celles-ci; on les a modifiées en reportant le troisième essieu à l'arrière. Dans quelques-unes on l'a accouplé avec l'essieu des roues motrices en allongeant la boite à feu aux dépens de la longueur des tubes.

N° 5. Nord, *marchandises;* 1846. — Machines à marchandises, à cylindres extérieurs et horizontaux et à six roues accouplées; on a pris, pour point de départ, la machine à voyageurs (n° 3) en l'appropriant à l'accouplement des trois paires de roues. Ces machines, à un degré encore plus marqué que les précédentes, ont péché, au début du service, par l'insuffisance de la vaporisation; l'amélioration du coke les a replacées dans d'assez bonnes conditions, quoique la surface de chauffe laisse encore à désirer pour ses dimensions, par rapport au volume des cylindres; ainsi que nous l'avons déjà indiqué, l'amélioration à faire subir à ces

machines serait l'augmentation du diamètre des roues, ce qui aurait encore pour avantage d'augmenter l'effet de l'adhérence. Les machines avaient, avant l'application des contrepoids, une instabilité des plus grandes; quoique cet inconvénient ait disparu, il n'y a pas lieu d'en recommander l'imitation, à cause dès difficultés de construction que présente le porte-à-faux des cylindres et du mécanisme, et la nécessité d'appliquer, sur un seul bouton de manivelle, la bielle motrice et les deux bielles d'accouplement. Dans cette machine comme dans les précédentes, la disposition et les dimensions du réservoir de vapeur laissent à désirer; elles priment avec une grande facilité.

N° 6. Crampton; 1849.— Ces machines ont été construites pour le service des *express trains* du chemin de fer du Nord, par MM. Derosne et Cail, sur les plans d'ensemble de M. Crampton. Nous en avons déjà parlé à plusieurs reprises; tout le monde parait à peu près d'accord sur la nécessité de réduire leur poids et l'écartement des essieux extrêmes; on peut, sans inconvénient, réduire dans une proportion assez notable, la dimension de la surface de chauffe. Elles se font remarquer par la disposition du mécanisme de la distribution qui est entièrement placé à l'extérieur. (*Fig.* 4, *pl.* 65 et *fig.* 1, *pl.* 66.)

N° 7. Lyon, *voyageurs*; 1847. — Ces machines, construites sur les plans de M. Al. Barrault, par MM. Derosne et Cail, ont été le point de départ de la réaction légitime qui a eu lieu contre le système des trois essieux intercalés entre la boite à feu et la boite à fumée, de R. Stephenson, qui était adopté généralement sur nos chemins de fer, en 1845 et 1846; la même observation s'applique aux machines du chemin de fer de Tours à Nantes, construites à la même époque. Le diamètre des roues motrices de ces machines et la répartition du poids, les met dans des conditions d'adhérence très-convenables. Le réservoir de vapeur manque de capacité et surtout de hauteur dans le corps cylindrique de la chaudière; elles priment avec une grande facilité. (*Fig.* 1, *pl.* 63.)

On a construit, sur le même type et pour le même chemin, quelques machines mixtes dans lesquelles les roues d'avant ont été accouplées avec les roues motrices ; on s'est assujetti en même temps à maintenir les cylindres extérieurs et horizontaux, en donnant aux roues un assez grand diamètre; il en résulte une surcharge trop considérable de l'essieu d'avant ; ce système a été abandonné.

N° 8. Lyon, *mixte ;* 1850. — Ces machines ont été construites par M. E. Gouin, d'après les plans de Sharp frères ; la machine le *Rhône*, dont nous avons décrit les détails, appartient à ce type. Les cylindres sont intérieurs et inclinés, pour que la tige du piston et les glissières puissent passer au-dessus de l'essieu des roues d'avant qui sont accouplées avec les roues du milieu. Ces machines ont une grande surface de chauffe et un grand réservoir de vapeur; elles font un très-bon service. (*Fig.* 1, *pl.* 64, et *fig.* 23, *pl.* 65. Quelques-unes de ces machines ont été montées sur des roues de 1 m 80 de diamètre.

N° 9. Lyon, *marchandises;* 1850. — Ces machines sont entrées récemment en service; elles auront une grande puissance; il y a seulement lieu de croire que le foyer sera trop profond. (*Fig.* 1, *pl.* 67, et *fig.* 2, 3, 4, *pl.* 68.)

N° 10. Strasbourg, *voyageurs;* 1847.— Ces machines ne diffèrent pas sensiblement des machines du chemin de fer du Nord ; elles ont été établies sur les mêmes plans, avec quelques variantes pour la disposition des pompes alimentaires et pour celle du dôme de prise de vapeur qui est placé près de la cheminée. Dans quelques-unes de ces machines, les dernières construites, on a reporté le troisième essieu en arrière du foyer.

N° 11. Strasbourg, *marchandises;* 1850. — Ces machines ont été établies sur le type de la machine n° 48, le *Mammouth*, du chemin de fer d'Orléans, sortie des ateliers de Stephenson. Les cylindres sont intérieurs et les six roues accouplées, placées entre

la boîte à feu et la boîte à fumée. Elles sont susceptibles de faire un très-bon service et c'est le modèle que l'on adopte maintenant le plus généralement, lorsqu'on accouple les six roues.

N° 12. Mammouth, Stephenson ; 1845.— Nous avons donné, sous ce titre, les dimensions principales de la machine n° 48 du chemin de fer d'Orléans, dont nous venons de parler ; cette machine a servi de type aux machines nᵒˢ 9 et 11 et à d'autres encore, sur divers chemins de fer ; partout on s'en est montré très-satisfait. L'écartement des essieux extrêmes n'est pas trop considérable pour gêner d'une manière très-appréciable la circulation dans les courbes de rayon ordinaire. Il est juste, toutefois, de remarquer que la grande supériorité de ces machines sur les machines à six roues accouplées et à cylindres extérieurs, résulte, en partie, de ce qu'elles sont naturellement équilibrées, par suite de l'opposition qui existe entre les manivelles d'accouplement et les manivelles motrices et, en outre, de ce que les roues ont un diamètre en rapport convenable avec le poids des machines et le pouvoir de vaporisation de la chaudière.

N° 13. Orléans, Stephenson ; 1843. — Ces machines ont été construites par Stephenson, pour le service des voyageurs sur le chemin de fer de Paris à Orléans ; elles appartiennent à son premier type de machines à longues chaudières ; elles sont à cylindres et à châssis intérieurs. C'est sur ces machines que la coulisse a été importée en France ; elles ont toujours fait un bon service.

N° 14. Orléans, *marchandises* ; 1849. — Ces machines ont été construites par M. C. Polonceau, pour le service des marchandises ; mais le diamètre de leurs roues permet de les affecter au service des voyageurs. Les cylindres sont intérieurs et les boîtes de tiroir extérieures, de telle sorte que le mécanisme de la distribution est compris entre les roues et le châssis extérieur ; les bielles d'accouplement sont appliquées sur des manivelles en fer forgé, calées sur le prolongement des fusées, au delà du châssis exté-

rieur. Ces machines sont dans de très-bonnes conditions pour la stabilité propre, pour la puissance de vaporisation et l'économie de vapeur. Le faible écartement des roues extrêmes que l'on a obtenu, sans inconvénient, en donnant du porte-à-faux aux cylindres en avant du premier essieu, atténue l'inconvénient qui résulte de l'accouplement des roues motrices avec les roues d'arrière. (*Fig.* 1, *pl.* 70 ; *fig.* 2, 3, 4, *pl.* 71.)

N° 15. TOURS A NANTES, *voyageurs;* 1847. — M. Forquenot, qui a arrêté le type de cette machine, dont la construction a été confiée à M. André Kœchlin, a, comme M. Al. Barrault et à la même époque, abandonné le type de Stephenson pour reporter le troisième essieu en arrière de la boîte à feu. Cette machine diffère peu dans son ensemble du n° 7.

N° 16. TOURS A NANTES, *marchandises;* 1847. — Ces machines ont été construites par M. André Kœchlin, sur des plans qui lui ont été imposés par la Compagnie et qui avaient été adoptés antérieurement par la Compagnie d'Orléans ; elles sont à six roues accouplées, à cylindres extérieurs et inclinés ; elles présentent les mêmes inconvénients que les machines n° 5 ; elles ont, en outre, une tendance plus marquée au mouvement de galop ; elles avaient une instabilité tout aussi grande avant l'application des contrepoids.

N° 17. OUEST, *mixte* ; 1848. — Ces machines ont été construites par M. Cavé, d'après un type spécial que M. E. Gouin avait étudié en 1847, pour le chemin de fer d'Orléans, en prenant pour point de départ le *Mammouth*. Les cylindres et le châssis sont intérieurs, les roues motrices sont accouplées avec les roues d'arrière, qui sont placées en avant de la boîte à feu. Ces machines, à part une certaine propension à l'entraînement de l'eau, résultant de l'insuffisance de la hauteur du réservoir de vapeur dans le corps cylindrique, sont dans de bonnes conditions ; elles sont parfaitement appropriées au service du chemin de l'Ouest,

dont le profil, entre Paris et Chartres, présente, sur un quart de sa longueur, des pentes et rampes variant de 0^m 006 à 0^m 010 par mètre, et dont les convois sont formés par la réunion de wagons de voyageurs et de wagons de marchandises.

N° 18. SAINT-GERMAIN, ANTÉE; 1849. — Cette machine a été construite par M. E. Flachat, dans les ateliers du chemin de fer de Saint-Germain, pour le service de la rampe de 0^m 035 du chemin de fer atmosphérique; elle est à cylindres extérieurs légèrement inclinés et à châssis intérieur. Les roues motrices sont placées en avant de la boîte à feu. C'est une des machines les plus puissantes qui aient été construites jusqu'ici pour la voie étroite. (*Fig.* 1, *pl.* 69.)

TABLEAU

DES DIMENSIONS PRINCIPALES

de quelques Machines locomotives.

INDICATION *du chemin sur lequel la machine circule et du service qu'elle fait*..........	VERSAILLES. *Voyageurs.*	ROUEN ET BORDEAUX. *Voyageurs.*	NORD. *Voyageurs.*	NORD. *Mixte.*	NORD. *Marchand.*	NORD CRAMPTON. *Foyageurs.*	LYON. *Voyageurs.*	LYON. *Mixte.*
NOM *du constructeur* ..	Sharp Roberts.	Beddicom.	Derosne et Cail.	Ateliers de la Compag.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	E. Gouin.
DATE *de la construction*	1840.	1845.	1846.	1849.	1847.	1849.	1847.	1849.
APPAREIL DE VAPORISATION.								
Boîte à feu et Chaudière.								
Longueur de la grille.	1,028	1,016	0,925	1,255	0,925	1,370	1,030	1,205
Largeur d° .	1,018	1,067	0,914	0,915	0,914	1,018-1,040	0,900	1,042
Surface d° .	1,046	1,084	0,845	1,148	0,845	1,4179	0,945	1,253
Hauteur du 1er rang de tubes au-dessus de la grille............	0,530	0,512	0,680	0,680	0,680	0,560	0,697	0,870
Hautr du ciel du foyer au-dessus de la grille	1,168	1,187	1,230	1,230	1,230	1,313	1,330	1,505
Surface de chauffe.								
Nombre de tubes.....	162	145	125	125	125	178	145	155
Longueur des tubes...	2,550	2,867	3,800	3,470	3,800	3,615	3,488	3,226
Diamètre intérr d° .	0,039	0,045	0,045	0,046	0,045	0,047	0,046	0,046
Épaisseur d° .	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Surface totale d° .	50,012	58,870	66,500	68,098	66,500	94,962	76,250	77,600
d° du foyer.....	5,868	5,798	5,012	6,250	5,012	7,377	5,900	7,800
Surf. de chauffe totale.	55,880	64,668	71,512	74,348	71,512	102,339	82,150	85,400
Écartemt longitudinal intérieur entre les parois du foyer et son enveloppe......	0,080	0,076	0,076	0,076	0,076	0,066	0,076-0,126	0,084-0,073
Écartement transversal entre les parois du foyer et son enveloppe	0,080	0,076	0,076	0,076	0,076	0,077-0,066	0,076	0,076
Diamètre intérieur du corps cylindrique...	1,115	1,098	0,950	0,950	0,950	1,200	1,036-1,076	1,146
Longueur du corps cylindrique...........	2,454	2,743	3,685	3,335	3,685	3,550	3,410	3,100
Épaisseur de la tôle...	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,012	0,012
Épaissr de la tôle de la boîte à feu extérieure	0,010	0,010	0,012	0,011	0,012	0,012	0,012	0,012
Épaisseur du cuivre du ciel du foyer.......	0,010	0,012	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012
Épaissr du cuivre des parois latérales.....	0,010	0,012	0,011	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012
Épaissr du cuivre de la plaque des tubes....	0,020	0,020	0,025-0,012	0,025-0,012	0,025-0,012	0,025-0,012	0,022-0,012	0,025-0,014

N. B. Tous les nombres donnés dans ce tableau sont exprimés en mètres pour les longueurs, en mètres carrés aa. Les foyers de ces machines ont des bouilleurs longitudinaux dont la surface est de 1 mètre environ.

LYON. *Marchand.*	STRASBOURG *Voyageurs.*	STRASBOURG *Marchand.*	ORLÉANS. MAMMOUTH. *Marchand.*	ORLÉANS. *Voyageurs.*	ORLÉANS. *Marchand.*	TOURS A NANTES *Voyageurs.*	TOURS A NANTES *Marchand.*	OUEST. *Mixte.*	SAINT-GERMAIN *Antée.*
Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	Stephenson.	Stephenson.	C. Polonceau.	André Kœchlin.	André Kœchlin.	Cavé.	E. Flachat.
1850.	1847.	1850.	1845.	1843.	1849.	1847.	1847.	1848.	1849.
1,210	0,925	1,050	0,960	0,925	0,922	1,000	1,000	1,000	1,000
0,904	0,914	0,904	0,920	0,919	1,072	0,910	0,910	0,920	0,960
1,0938	0,845	0,9492	0,8832	0,851	0,9885	0,910	0,910	0,920	0,960
0,860	0,656	0,738	0,600	0,566	0,555	0,760	0,795	0,680	0,595
1,530	1,250	1,350	1,297	1,400	1,320	1,385	1,360	1,280	1,205
134	125	145	139	160	180	151	125	145	120
4,017	3,772	3,927	3,945	3,680	3,760	2,951	3,781	3,920	4,115
0,046	0,045	0,045	0,037	0,037	0,045	0,045	0,045	0,045	0,0475
0,002	0,002	0,002	0,0025	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,00225
92,755	69,587	82,910	63,713	63,300	90,396	65,770	70,000	80,330	73,800
7,188	5,008	5,810	5,085	5,090	6,252	6,992 (a)	6,775 (a)	5,500	5,895
99,943	74,595	88,720	68,798	68,390	96,648	72,762	76,775	85,800	79,695
0,076	0,071	0,076	0,080	0,076	0,100	0,076	0,076	0,077	0,076
0,106-0,076	0,076	0,106-0,076	0,080	0,071	0,100	0,076	0,076	0,077	0,074
1,278	0,950	1,190	1,048-0,998	0,982-0,921	1,270	1,060	0,936	1,060	1,080
3,940	3,695	3,850	3,810	3,564	3,620	2,830	3,680	3,845	4,000
0,011	0,010	0,011	0,011	0,010	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010
0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011	0,010
0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011
0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011
0,025-0,012	0,025-0,012	0,025-0,012	0,020	0,022	0,024	0,024	0,024	0,025	0,025

pour les surfaces, en mètres cubes pour les volumes et en kilogrammes pour les poids.

INDICATION du chemin sur lequel la machine circule et du service qu'elle fait..........	VERSAILLES. *Voyageurs*	ROUEN ET BORDEAUX. *Voyageurs*	NORD. *Voyageurs.*	NORD. *Mixte.*	NORD. *Marchand.*	NORD. CRAMPTON. *Voyageurs.*	LYON. *Voyageurs.*	LYON. *Mixte.*
NOM du constructeur...	Sharp Roberts.	Buddicom.	Derosne et Cail.	Atelier de la Compag.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	E. Gouin.
DATE de la construction.	1840.	1845.	1846.	1849.	1847.	1849.	1847.	1849.
Surface de chauffe (suite).								
Volume d'eau contenu dans la chaud^re avec 0.10^c au dess. du foyer.	1,615	1,671	2,228	2,427	2,228	2,779	2,300	2,000
Volume de vap. dans la chaudière, avec 0^m10^c d'eau au dess du foyer	1,195	1,150	1,167	1,469	1,167	0,613	0,928	1,540
Distance de l'arête super^re du corps cylind. au dess. du niveau de l'eau avec 0,10^c d'eau sur le foyer.........	0,350	0 260	0,170	0,170	0,170	0,245	0,206	0,326
Boîte à fumée.								
Longueur intérieure..	0,634	0,670	0,665	0,665	0,849	0,675	0,623	0,762
Largeur transversale..	1,250	1,270	1,156	1,156	1,156	1,200	1,244	1,304
Hauteur..............	1,740	1,440	1,100	1,220	1,100	1,200	1,200	1,367
Capacité (moins le volume des cylindres).	0,960	1,108	0,850	0,811	0,955	0,763	0,754	0,898
Épaisseur de la plaque des tubes...........	0,016	0,018	0,015	0,015	0,015	0,015	0,017	0,016
Épaisseur des parois latérales...........	0,007	0,006	0,008	0,008	0,008	0,010	0,008	0,006
Cheminée.								
Diamètre intérieur....	0,350	0,330-0,335	0,328	0,328	0,328	0,400	0,380	0,400
Épaisseur de la tôle...	0,005	0,004	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,004
Hauteur au-dessus de la boîte à fumée....	1,680	1,873	1,710	1,710	1,815	1,950	1,820	1,917
Alimentation.								
Diamètre du plongeur.	0,045	0,0308	0,105	0,060	0,105	0,064	0,060	0,052
Course d° .	0.464	0,538	0,116	0,560	0,116	0,550	0,600	0,560
Volume engendré par coup de piston......	0,00073	0,00115	0,001	0,00158	0,001	0,00176	0,001274	0,00118
Diamètre cylindrique du siège des clapets.	0,058	0,050	0,052	0,045	0,052	0,060	0,050	0,048
Levée des soupapes...	0,021	0,015	0,050	0,020	0,050	0,012	0,016	0,012
Section d'écoulem^t par les soupapes........	0,00113	0,0019	0,0021	0,0018	0,0021	0,0016	0,00176	0,00118
Diamètre du tuyau d'aspiration............	0,040	0,054	0,052	0,060	0,052	0,064	0,052	0,062
Diamètre du tuyau de refoulement........	0,040	0,050	0,052	0,055	0,052	0,064	0,052	0,054
Épaisseur des tuyaux..	0,004	0,0025	0,005	0,0025	0,003	0,003	0,0025 0,003	0,0025

LYON. *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	STRASBOURG. *Voyageurs.* Derosne et Cail. 1847.	STRASBOURG. *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	ORLÉANS. MAMMOUTH. *Marchand.* Stephenson. 1845.	ORLÉANS. *Voyageurs* Stephenson. 1843.	ORLÉANS. *Marchand.* C. Polonceau. 1849.	TOURS A NANTES *Voyageurs.* André Kœchlin. 1847.	TOURS A NANTES *Marchand* André Kœchlin. 1847.	OUEST. *Mixte.* Cavé. 1848.	SAINT-GERMAIN *Antée.* E. Flachat. 1849.
2,750	1,942	2,370	1,905	1,754	3,060	1,730	1,950	2,556	2,333
1,620	0,890	1,450	1,760	0,824	1,120	0,910	0,690	1,326	1,415
0,333	0,185	0,365	0,336	0,205	0,330	0,240	0,190	0,270	0,290
0,850	0,775	0,805	0,724	0,820	0,800	0,748	0,848	0,822	0,755
1,238	1,154	1,196	1,170	1,120	1,400	1,215	1,110	1,234	1,190
ronde.	1,134	ronde.	1,085	1,120	1,395	1,250	1,340	1,100	1,775
0,939	0,724	0,895	0,716	1,018	1,237	0,914	1,025	1,000	1,397
0,017	0,017	0,017	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015	0,015	0,015
0,011	0,008	0,010	0,010	0,009	0,008	0,007	0,008	0,008	0,010
0,400	0,350	0,400	0,333	0,350	0,400	0,340	0,340	0,330	0,370
0,003	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005
1,710	1,710	1,570	1,610	1,925	1,965	1,825	1,895	1,705	2,030
0,055	0,105	0,106	0,106	0,107	0,105	0,055	0,104	0,105	0,052
0,080	0,116	0,116	0,114	0,114	0,140	0,560	0,116	0,116	0,700
0,001425	0,001004	0,001004	0,001005	0,001025	0,00121	0,00133	0,00098	0,001004	0,00148
0,050	0,052	0,052	0,061	0,060	0,060	0,060	0,070	0,045	0,062
0,013	0,012	0,012	0,018	0,020	0,010	0,016	0,016	0,012	0,018
0,00144	0,001356	0,001356	0,00166	0,0016	0,0019	0,00159	0,00193	0,0011	0,0033
0,052	0,052	0,052	0,048	0,050	0,055	0,050	0,050	0,045	0,058
0,052	0,052	0,052	0,048	0,050	0,053	0,050	0,050	0,043	0,058
0,0025 / 0,003	0,0025 / 0,003	0,0025 / 0,003	0,003	0,003	0,0025	0,0025	»	0,003	0,0033

Indication *du chemin sur lequel la machine circule et du service qu'elle fait*..........	Versailles. *Voyageurs.*	Rouen et Bordeaux. *Voyageurs*	Nord. *Voyageurs.*	Nord. *Mixte.*	Nord. *Marchand.*	Nord. Crampton. *Voyageurs*	Lyon. *Voyageurs.*	Lyon. *Mixte.*
Nom *du constructeur*...	Sharp Robert.	Buddicom.	Derosne et Cail.	Atelier de la Compag.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	R. Coun.
Date *de la construction*.	1840.	1845.	1846.	1849.	1847.	1849.	1847.	1849.
DISTRIBUTION DE VAPEUR.								
Prise de vapeur.								
Section d'ouvert^re maxima du régulateur.	0,0136	0,02055	0,0120	0,0112	0,012	0,0132	0,0132	0,0134
Diamètre intérieur du tuyau de prise de vap^r	0,120	0,165	0,125	0,120	0,125	0,145	0,125	0,138
Épaisseur du tuyau de prise de vapeur....	0,004	0,004	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,003	0,010
Section du tuyau de prise de vapeur.....	0,01131	0,02138	0,01227	0,0113	0,01227	0,0165	0,01227	0,01327
Diam. des tuyaux allant à chaque cylindre..	0,090	0,114	0,100	0,094	0,100	0,120	0,100	0,138
Section des tuy. allant à chaque cylindre...	0,0063	0,0102	0,0078	0,0069	0,0078	0,0113	0,0078	0,0095
Échappement.								
Diamètre du tuyau d'échappement.........	0,100	0,152	0,125	0,120	0,125	0,160	0,140	0,230-0,080
Section du tuyau d'échappement...... ..	0,00785	0,018145	0,01227	0,0113	0,01227	0,0200	0,01539	0,0144
Section maxima de la tuyère d'échappem^t.	0,0100	0,0095	0,0106	0,018	0,0106	0,0220	0,01595	0,01375
Section minima de la tuyère d'échappem^t.	0,0040	0,0095	0,00424	0,00424	0,00424	0,0025	0,0031	0,00472
Longueur totale de la conduite d'échappement depuis le tiroir.	1,950	1,350	2,500	1,000	2,500	2,425	2,100	1,882
Épaisseur des tuyaux d'échappement......	0,004	0,0025	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,008
Mécanisme.								
Angle d'avance.......	30°	31°	30°	30°	30°	15°	30°	33°
Avance linéaire à l'introduction..........	0,006	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,0065
Avance linéaire à l'échappement	0,027	0,035	0,026	0,026	0,026	0,032	0,028	0,009
Recouvrem^t intérieur (de chaque côté)....	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,0068	0,001	0,001
Recouvrem^t extérieur (de chaque côté)....	0,023	0,016	0,035	0,025	0,024	0,028	0,024	0,021
Maximum d'introduction de vapeur (en cent^es de la course).	0,808	0,56-0,50(1)	0,800	0,800	0,800	0,800	0,790	0,770
Minimum d'introduct. de vapeur (en cent^es de la course).......	»	»	0,250	0,250	0,250	0,280	0,250	0,260

(1) Le Havre, *voyageurs.*

LYON. *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	STRASBOURG *Voyageurs.* Derosne et Cail. 1847.	STRASBOURG *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	ORLÉANS. MAMMOUTH. *Marchand.* Stephenson. 1845.	ORLÉANS. *Voyageurs.* Stephenson. 1845.	ORLÉANS. *Marchand.* C. Polonceau. 1849.	TOURS A NANTES *Voyageurs.* André Kœchlin. 1847.	TOURS A NANTES *Marchand.* André Kœchlin. 1847.	OUEST. *Mixte.* Cavé. 1848.	SAINT-GERMAIN *Avide.* E. Flachat. 1849.
0,01308	0,01154	0,0132	0,0132	0,0125	0,0105	0,01008	0,01008	0,0132	0,0187
0,140	0,130	0,126	0,125	0,125	0,115	0,125	0,125	0,125	0,154
0,0025	0,012	0,012	0,005	0,004	0,013	0,003	0,003	0,003	0,012
0,015305	0,01227	0,01327	0,01224	0,01227	0,01038	0,01227	0,01227	0,01227	0,0186
0,100	0,100	0,100	0,100	0,087	0,100	0,100	0,100	0,100	0,125
0,0078	0,0078	0,0078	0,0078	0,0059	0,0078	0,0078	0,0078	0,0078	0,0122
0,130	0,120	0,110	0,074	0,060	0,130	0,120	0,120	0,115	0,145
0,0132	0,0113	0,0095	0,0043	0,0028	0,0126	0,0113	0,0113	0,01038	0,0165
0,01539	0,0132	0,011309	0,0120	0,0120	0,01474	0,011875	0,011875	0,0103	0,0108
0,00586	0,0031	0,00386	0,0023	0,0023	0,0027	0,0021	0,0021	0,0025	0,0043
1,900	2,000	1,600	1,300	1,400	2,150	2,100	1,400	1,500	1,800
0,010	0,003	0,003	0,007	0,003	0,005	0,003	0,003	0,005	0,005
14°	30°	30°	30° (2)	av. 30° 3/5 ar. 36° 3/6 (2)	21° av. 10° ar.	30°	30°	30°	36°
0,006	0,005	0,005	R. 1 et R. 6.	R. 5 et R. 4.	0,002	0,004	0,004	0,005	0,005
0,029	0,028	0,028	0,025	0,016	0,035	0,028	0,028	0,050	0,0285
0,001	0,001	0,001	0,00425	0,0068	0,005	0,001	0,001	0,0055	0,004
0,024	0,024	0,024	0,034	0,0315	0,025	0,025	0,025	0,023	0,0275
0,780	0,790	0,790	0,750	0,760	0,700	0,800	0,800	0,820	0,701
0,230	0,230	0,250	0,349	0,320	0,180	0,400	0,400	0,250	0,185

(2) Voir pour plus amples détails les tableaux de distribution, pages 193 et suivantes

INDICATION *du chemin sur lequel la machine circule et du service qu'elle fait*..........	VERSAILLES. *Voyageurs.*	ROUEN ET BORDEAUX. *Voyageurs.*	NORD. *Voyageurs.*	NORD *Mixte.*	NORD. *Marchand.*	NORD, CRAMPTON. *Voyageurs.*	LYON. *Voyageurs.*	LYON *Mixte.*
NOM *du constructeur*...	Sharp Roberts.	Buddicom.	Derosne et Cail.	Atelier de la Compag.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	E. Gouin.
DATE *de la construction*	1840.	1845.	1846.	1849.	1847.	1849.	1847.	1849.
Mécanisme (suite).								
Rayon d'excentricité..	0,048	0,055	0,058	0,058	0,058	0,092	0,058	0,065
Course des tiroirs.....	0,115	0,110	0,116	0,116	0,116	0,184	0,116	0,103
Lumière d'admission — Longueur	0,192	0,305	0,250	0,250	0,250	0,300	0,300	0,305
Lumière d'admission — Largeur..	0,044	0,032	0,040	0,040	0,040	0,050	0,040	0,046
Lumière d'admission — Section..	0,00836	0,00976	0,010	0,010	0,010	0,015	0,012	0,014
Longueur développée du conduit d'admiss.	0,250	0,350	0,360	0,440	0,440	0,400	0,380	0,310
Volume du cond^t d'admission............	0,00209	0,005828	0,0056	0,0044	0,0044	0,006	0,0045	0,00454
Lumière d'échappement. — Longueur	0,192	0,305	0,250	0,250	0,250	0,300	0,300	0,305
Lumière d'échappement. — Largeur..	0,070	0,055	0,076	0,075	0,076	0,090	0,080	0,086
Lumière d'échappement. — Section..	0,01344	0,016775	0,019	0,0187	0,019	0,027	0,024	0,026
Tiroir..... — Largeur..	0,260	0,221	0,340	0,310	0,312	0,360	0,358	0,365
Tiroir..... — Longueur	0,270	0,355	0,245	0,245	0,244	0,286	0,248	0,262
Tiroir..... — Surface..	0,0702	0,0786	0,0759	0,0759	0,0761	0,1029	0,08578	0,0956
MÉCANISME DE TRANSMISSION.								
Écartem^t d'axe en axe des cylindres.......	0,713	1,855	1,880	1,880	2,076	1,850	1,882	0,670
Inclinaison des cylind^s	0°	7° 45′	0°	0°	0°	0°	0°	5°
Diamètre d°	0,330	0,3556	0,380	0,380	0,380	0,400	0,380	0,400
Longueur totale intérieure..............	0,600	0,686	0,692	0,720	0,742	0,682	0,732	0,692
Course du piston.....	0,460	0,535	0,560	0,560	0,610	0,550	0,600	0,560
Liberté des cylindres (moyenne)..........	0,010	0,008-0,012	0,025	0,025	0,025	0,020	0,011-0,013	0,014-0,011
Longueur de la bielle.	1,425	1,562	1,375	1,825	1,470	2,310	1,610	1,670
Diamètre du bouton de manivelle	0,130	0,080	0,080	0,080	0,080	0,125	0,085	0,165
Longueur du bouton de manivelle...........	0,090	0,101	0,090	0,100	0,090	0,120	0,100	0,096
CHASSIS ET SUPPORTS.								
Châssis.								
Écartement des longerons d'axe en axe...	1,810	2,000	1,221	1,225	1,225	1,282-2,418	1,210	1,200
Hauteur des longerons.	0,240	0,216	0,200	0,200	0,200	0,220	0,200	0,200-0,340

LYON. *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	STRASBOURG *Voyageurs.* Derosne et Cail. 1847.	STRASBOURG *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	ORLÉANS. MAMMOUTH. *Marchand.* Stephenson. 1845.	ORLÉANS. *Voyageurs.* Stephenson. 1845.	ORLÉANS. *Marchand.* C. Polonceau. 1849.	TOURS A NANTES *Voyageurs* André Kœchlin. 1847.	TOURS A NANTES *Marchand.* André Kœchlin. 1847.	OUEST *Mixte.* Cavé. 1848.	SAINT-GERMAIN *Antée.* E. Flachat. 1849.
0,074	0,058	0,058	0,052	0,057	0,070	0,058	0,058	0,058	0,055
0,115	0,116	0,116	0,116	0,114	0,100	0,116	0,116	0,116	0,110
0,310	0,250	0,250	0,254	0,2535	0,320	0,250	0,270	0,250	0,310
0,042	0,040	0,040	0,032	0,033	0,038	0,040	0,040	0,040	0,045
0,0130	0,010	0,010	0,00812	0,00835	0,012	0,010	0,0108	0,010	0,0139
0,340	0,370	0,320	0,320	0,320	0,360	0,380	0,376	0,273	0,420
0,0044	0,0037	0,0032	0,0026	0,00267	0,0043	0,0038	0,0041	0,00275	0,00388
0,310	0,250	0,250	0,254	0,2535	0,320	0,250	0,270	0,250	0,310
0,084	0,076	0,076	0,062	0,060	0,073	0,076	0,076	0,075	0,100
0,026	0,019	0,019	0,016	0,015	0,02336	0,019	0,021	0,01875	0,031
0,370	0,314	0,314	0,313	0,3155	0,370	0,310	0,340	0,200	0,368
0,236	0,244	0,214	0,240	0,228	0,243	0,246	0,246	0,243	0,281
0,09472	0,0708	0,0766	0,0731	0,0719	0,0899	0,076	0,0836	0,073	0,1034
0,690	1,888	0,750	0,750	0,752	1,020	1,882	1,860	0,730	2,015
7°	0°	7°	7°15′	0°	0°	0°	16°	0°	4°35′
0,420	0,380	0,380	0,380	0,355	0,440	0,380	0,380	0,380	0,450
0,736	0,692	0,735	0,730	0,666	0,731	0,733	0,733	0,680	0,840
0,600	0,560	0,610	0,610	0,510	0,600	0,560	0,600	0,560	0,700
1 -0,008	0,011-0,013	0,016-0,008	0,020	0,020	0,020	0,025	0,025	0,021	0,022
1,530	1,405	1,530	1,460	1,294	1,450	1,510	1,680	1,400	2,970
0,176	0,085	0,160	0,158	0,155	0,180	0,080	0,090	0,160	0,096
0,102	0,100	0,102	0,105	0,102	0,110	0,090	0,090	0,100	0,100
1,226	1,226	1,226	1,220	1,220	2,080	1,220	1,225	1,225	1,220
0,220	0,200	0,200	0,203	0,117	0,230	0,200	0,200	0,200	0,240

INDICATION *du chemin sur lequel la machine circule et du service qu'elle fait*	VERSAILLES. *Voyageurs.*	ROUEN ET BORDEAUX. *Voyageurs.*	NORD. *Voyageurs.*	NORD. *Mixte.*	NORD. *Marchand.*	NORD. CRAMPTON. *Voyageurs.*	LYON. *Voyageurs.*	LYON. *Mixte.*
NOM *du constructeur*	Sharp Roberts.	Baddirom.	Derosne et Cail.	Atelier de la Compag.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail.	E. Gouin.
DATE *de la construction.*	1840.	1845.	1846.	1849.	1847.	1849.	1847.	1849.
Châssis (suite).								
Épaisseur de la tôle	0,010	0,010	0,030	0,030	0,030	0,025	0,030	0,026
d° du bois	0,070	0,080	»	»	»	»	»	»
Hauteur de l'axe des tampons au-dessus du rail	0,880	0,950	0,955	0,955	0,953	0,950	0,980	0,980
Écartemt des tampons d'axe en axe	1,800	1,776	1,727	1,727	1,727	1,727	1,710	1,710
Ressorts.								
Ressorts de l'essieu milieu. — Longueur	0,778	0,762	0,930	0,950	0,950	0,906	0,950	0,710
Ressorts de l'essieu milieu. — Largeur	0,100	0,088	0,090	0,090	0,090	0,100	0,090	0,090
Ressorts de l'essieu milieu. — Hauteur au milieu	0,125	0,112	0,158	0,158	0,140	0,115	0,179	0,140
Ressorts de l'essieu milieu. — Flèche sous charge	0,100	0,0888	0,075	0,054	0,080	0,115	0,075	0,060
Ressorts de l'essieu d'avant. — Longueur	0,778	0,711	0,950	0,930	0,930	0,906	0,930	0,710
Ressorts de l'essieu d'avant. — Largeur	0,100	0,088	0,090	0,090	0,090	0,100	0,090	0,090
Ressorts de l'essieu d'avant. — Hauteur au milieu	0,118	0,102	0,174	0,174	0,158	0,150	0,179	0,140
Ressorts de l'essieu d'avant. — Flèche sous charge	0,100	0,0285	0,080	0,083	0,076	0,172	0,070	0,060
Ressorts de l'essieu d'arrière. — Longueur	0,675	0,709	0,930	0,930	0,930	0,906	0,976	1,200
Ressorts de l'essieu d'arrière. — Largeur	0,074	0,088	0,090	0,090	0,090	0,100	0,060	0,105
Ressorts de l'essieu d'arrière. — Hauteur au milieu	0,070	0,068	0,142	0,132	0,158	0,150	0,190	0,170
Ressorts de l'essieu d'arrière. — Flèche sous charge	0,090	0,125	0,081	0,080	0,080	0,172	0,070	0,158
Roues.								
Diamètre des roues — du milieu	1,600	1,675	1,680	1,740	1,220	1,220	1,800	1,600
Diamètre des roues — d'avant	1,050	1,220	1,000	1,040	1,220	1,350	1,100	1,600
Diamètre des roues — d'arrière	1,050	1,070	1,000	1,740	1,220	2,100	1,100	1,100
Essieux.								
Essieu du milieu — Diamètre de la fusée	0,102	0,152	0,160	0,160	0,160	0,180	0,165	0,165
Essieu du milieu — Longueur	0,144	0,167	0,150	0,150	0,150	0,250	0,160	0,170
Essieu du milieu — Diamèt à la portée de calage	0,165	0,178	0,180	0,180	0,180	0,190	0,185	0,186
Essieu du milieu — Diamèt. au milieu	0,152	0,152	0,155	0,160	0,155	0,150	0,160	0,160

LYON. *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	STRASBOURG *Voyageurs.* Derosne et Cail. 1847.	STRASBOURG *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	ORLÉANS. MAMMOUTH. *Marchand.* Stephenson. 1845.	ORLÉANS. *Voyageurs.* Stephenson. 1843.	ORLÉANS. *Marchand.* C. Polonceau. 1849.	TOURS A NANTES *Voyageurs.* André Kœchlin. 1847.	TOURS A NANTES *Marchand.* André Kœchlin. 1847.	OUEST. *Mixte.* Cavé. 1848.	SAINT-GERMAIN *Anide.* E. Flachat. 1849.
0,030	0,030	0,030	0,032	0,025	0,008 } 0,08	0,030	0,030	0 030	0,030
»	»	»	0,022	0,022	0,064 }	»	»	»	»
0,980	0,990	0,990	1,000	1,055	1,020	1,020	1,020	1,000	1,000
1,710	1,710	1,710	1,835	1,860	1,740	1,740	1,740	1,740	1,835
0,860	0,950	0,860	1,069	0,930	0,925	0,870	0,872	1,010	0,900
0,090	0,090	0,090	0,090	0,085	0,090	0,090	0,090	0,090	0,091
0,120	0,0758	0,103	0,162	0,152	0,108	0,166	0,158	0,190	0,165
0,045	0,075	0,045	0,064	0,050	0,082	0,075	0,079	0,025	0,030
0,860	0,960	0,860	1,060	0,950	0,950	0,876	0,875	1,010	0,830
0,090	0.090	0,090	0,090	0,088	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
0,120	0,0758	0,108	0,156	0,135	0,144	0,150	0,158	0,180	0,150
0,045	0,080	0,045	0,068	0,058	0,070	0.078	0,088	0,029	0,072
0,860	0,960	0,860	1,060	0,950	0,925	0,810	0,874	1,010	0,900
0,090	0,090	0,090	0,090	0,088	0,090	0,075	0,090	0,090	0,091
0,120	0,174	0,108	0,165	0,150	0,120	0,125	0,158	0,190	0,165
0,045	0,085	0,045	0,0756	0,050	0,082	0,100	0,076	0,025	0,085
1,500	1,680	1,420	1,450	1,700	1,500	1,850	1,300	1,000	1,210
1,500	1,000	1,420	1,450	1,102	1,000	1,000	1,500	1,100	1,210
1,500	1,000	1,420	1,450	1,102	1,500	1,000	1,300	1,600	1,210
0,150	0,160	0,166	0,160	0,152	0,140	0,160	0,150	0,160	0,150
0,180	0,150	0,150	0,152	0,153	0,170	0,150	0,150	0,152	0,165
0,180	0,180	0,180	0,177	0,177	0,176	0,180	0,180	0,178	0,165
0.165	0,155	0,155	0,148	0,146	0,170	0,155	0,145	0,152	0,133

INDICATION *du chemin sur lequel la machine circule et du service qu'elle fait*..........	VERSAILLES. *Voyageurs.*	ROUEN ET BORDEAUX. *Voyageurs.*	NORD. *Voyageurs.*	NORD. *Mixte.*	NORD. *Marchand.*	NORD. CRAMPTON. *Voyageurs.*	LYON. *Voyageurs.*	LYON. *Mixte.*
NOM *du constructeur*...	Sharp Roberts.	Buddicom.	Derosne et Cail.	Atelier de la Compag.	Derosne et Cail.	Derosne et Cail	Derosne et Cail.	E. Gouin
DATE *de la construction*	1840.	1845.	1846.	1849.	1847.	1849.	1847.	1849.
Essieu d'avant. Diamètre de la fusée..	0,087	0,101	0,140	0,140	0,150	0,150	0,160	0,165
Essieu d'avant. Longueur..	0,150	0,205	0,160	0,170	0,150	0,300	0,180	0,180
Essieu d'avant. Diamèt. à la portée de calage...	0,127	0,139	0,160	0,160	0,180	0,230	0,180	0,186
Essieu d'avant. Diamèt. au milieu...	0,108	0,120	0,135	0,180	0,145	0,160	0,145	0,155
Essieu d'arrière. Diamètre de la fusée..	0,087	0,088	0,140	0,160	0,150	0,180	0,160	0,130
Essieu d'arrière. Longueur..	0,130	0,178	0,160	0,150	0,150	0,260	0,180	0,150
Essieu d'arrière. Diamèt. à la portée de calage...	0,127	0,127	0,160	0,180	0,180	0,210	0,180	0,150
Essieu d'arrière. Diamèt. au milieu...	0,108	0,108	0,135	0,190	0,145	0,172	0,145	0,125
Écartemt intérr des roues	1,360	1,365	1,355	1,355	1,355	1,355	1,360	1,360
Écartemt interr des rails	1,440	1,450	1,440	1,440	1,440	1,440	1,450	1,450
Écartemt des essieux extrêmes..........	3,444	3,658	3,015	4,420	2,955	4,860	4,015	4,250
Écartemt de l'essieu d'avant à l'essieu milieu.	1,824	1,778	1,600	2,200	1,585	2,300	1,800	2,215
Bandages.								
Largeur..............	0,135	0,130	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140	0,140
Épaisseur au milieu...	0,040	0,040	0,050	0,055	0,055	0,055	0,050	0,050
Saillie du boudin....	0,025	0,030	0,039-0,355	0,039	0,039	0,039	0,040	0,030-0,0[illegible]
Conicité sur le rail....	1/20e	1/25e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e
Poids.								
Essieu du milieu monté	»	1,700	2,040	2,610	1,987	1,554	2,600	2,155
do d'avant do .	»	1,236	1,070	1,070	1,820	1,767	1,300	1,880
do d'arrière do .	»	1,025	1,070	2,610	1,820	3,185	1,300	1,095
Machine chargée avec 15 c. d'eau. Poids sur l'essieu milieu......	»	6,300	4,800	8,412	5,113	3,337	9,312	8,904
Poids sur l'essieu d'av.	»	5,264	5,925	6,856	6,380	9,376	8,087	7,217
Do sur l'essieu d'arr.	»	1,501	6,025	2,839	5,180	8,100	2,614	4,175
Poids total de la machine pleine avec 15c d'eau.	»	17,026	21,500	24,397	22,300	27,319	25,213	25,426
Poids total de la machine vide...............	»	14,851	18,886	21,710	20,072	24,197	2[illegible],600	22,080
Tender								
Volume d'eau complet.	»	4,000	3,458	5,783	5,783	6,390	6,000	5,500
Poids de coke........	»	1,776	1,400	1,750	1,750	1,225	1,500	1,000
Poids vide avec agrès.	»	5,300	7,219	7,366	7,366	9,951	11,826	8,900
Poids plein...........	»	11,076	14,057	14,899	14,899	17,566	19,326	15,400

LYON. *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	STRASBOURG *Voyageurs.* Derosne et Cail. 1847.	STRASBOURG *Marchand.* Derosne et Cail. 1850.	ORLÉANS. MAMMOUTH. *Marchand.* Stephenson. 1845.	ORLÉANS. *Voyageurs.* Stephenson. 1843.	ORLÉANS. *Marchand.* C. Polonceau. 1849.	TOURS A NANTES *Voyageurs.* André Kœchlin. 1847.	TOURS A NANTES *Marchand.* André Kœchlin. 1847.	OUEST. *Mixte.* Cavé. 1848.	SAINT-GERMAIN *Antée.* F. Flachat. 1849
0,160	0,150	0,160	0,158	0,127	0,120	0,140	0,150	0,145	0,150
0,200	0,170	0,180	0,154	0,178	0,190	0,150	0,150	0,180	0,170
0,180	0,170	0,180	0,176	0,147	0,161	0,160	0,180	0,160	0,165
0,150	0,135	0,150	0,150	0,129	0,140	0,135	0,145	0,135	0,135
0,160	0,150	0,160	0,158	0,118	0,140	0,140	0,150	0,160	0,160
0,200	0,170	0,180	0,154	0,160	0,190	0,150	0,150	0,180	0,160
0,180	0,170	0,180	0,177	0,146	0,176	0,160	0,180	0,178	0,185
0,150	0,135	0,150	0,140	0,120	0,145	0,135	0,145	0,146	0,150
1,360	1,355	1,355	0,365	1,375	1,370	1,370	1,370	1,365	1,370
1,450	1,440	1,440	1,440-1,450	1,140-1,450	1,440-1,450	1,450	1,450	1,450	1,440
3,435	3,015	3,350	3,330	3,358	3,125	3,610	3,200	3,440	3,220
1,845	1,615	1,845	1,807	1,858	1,545	1,700	1,820	1,740	1,770
0,140	0,140	0,140	0,141	0,128-0,160	0,135	0,140-0,130	0,140-0,130	0,140	0,140
0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
0,040	0,040	0,040	0,025	0,025	0,033	0,035	0,035	0,038	0,035
1/20e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e	1/20e
2,000	2,113	2,090	2,136	2,445	1,963	2,220	1,809	2,324	»
1,676	1,080	1,811	1,712	995	1,135	1,015	1,620	1,105	»
1,676	1,080	1,811	1,712	995	1,908	1,015	1,620	2,112	»
7,049	8,200	6,551	6,300	6,810	8,065	7,300	6,790	8,400	»
7,049	6,400	6,551	4,100	2,335	6,140	5,900	5,125	6,100	»
7,049	5,053	6,551	6,335	5,100	6,660	3,800	6,135	3,000	»
26,500	23,926	25,365	22,295	19,190	25,865	21,250	23,090	23,041	»
22,700	20,875	22,200	20,160	16,750	22,460	19,220	20,660	20,500	»
6,000	5,000	5,000	4,520	4,520	4,520	5,130	5,130	4,000	»
1,500	2,000	2,000	1,350	1,350	2,475	1,800	2,400	1,800	»
12,546	8,589	8,720	4,870	4,870	4,870	7,325	7,325	8,000	»
20,046	15,589	15,720	10,740	10,740	11,865	14,255	14,855	13,800	»

LIVRE V.

CONDUITE DES MACHINES LOCOMOTIVES.

Le mode de construction des machines locomotives, comme disposition d'ensemble et comme exécution des pièces, exerce une influence très-marquée sur l'économie et sur la régularité du service ; mais les soins de toute nature donnés aux machines, soit au repos soit en marche, ont une influence non moins importante. On ne pourrait négliger sans inconvénient les plus petits détails dans une exploitation aussi vaste que celle d'un chemin de fer; on y doit avoir des principes établis, des règles tracées pour toutes les parties du service. La *conduite des machines* devait donc occuper une assez large place dans notre travail ; nous ferons connaître d'abord l'organisation générale du service, nous indiquerons ensuite les soins de toute nature à donner aux machines prêtes à partir, en marche, sortant de service ou stationnant dans tous les dépôts, entre deux départs ; les règles à suivre pour tirer de la machine en marche le meilleur parti possible, ou ce qu'on pourrait appeler la *Théorie du Mécanicien*.

CHAPITRE I[er].

Installation générale du Service.

§ 1[er]. — Personnel du Service de la traction.

Le service de la traction ou de la locomotion n'est qu'une branche du service du *matériel* qui forme, dans la plupart des exploitations, une des principales *divisions* de l'administration gé-

nérale des chemins de fer; c'est à tort que, dans quelques cas, on a cru pouvoir isoler la traction, ou le service des machines en activité, des ateliers de réparation. Il est indispensable que tout le service soit centralisé fortement entre les mains d'un seul ingénieur ou d'un entrepreneur qui est à la fois responsable de l'achat des matières, de la conduite des trains et de l'entretien du matériel de traction ou de transport.

Suivant l'importance du service général du matériel, il se subdivise plus ou moins entre plusieurs chefs de service placés sous les ordres directs de l'ingénieur du matériel. Sur les grandes lignes, il est généralement nécessaire d'avoir un chef de service spécial pour la traction, qui surveille le service des machines en état d'activité, qui leur fait donner tous les soins d'entretien courant, indique la nature des réparations ou des modifications à effectuer. Le service des ateliers étant subdivisé entre les points principaux de la ligne et se rattachant au service local de la traction, il convient que le chef de la traction qui, du reste, a par nécessité une grande mobilité, soit, autant que possible, le suppléant désigné de l'ingénieur du matériel et qu'à ce titre, indépendamment de l'autorité qu'il est appelé à exercer accidentellement, il ait un droit de contrôle incontestable sur tous les travaux d'ateliers qui se font en dehors de sa direction immédiate.

Le chef du service de la traction doit avoir sous la main un bureau, composé d'un petit nombre d'employés, pour la correspondance, la transmission des ordres, le dépouillement des rapports, la statistique des parcours, la comptabilité du personnel et des matières de consommation.

Lorsque l'étendue de la ligne est considérable, il peut devenir nécessaire de la fractionner en sections et de conférer, dans chaque section, le service du matériel à un ingénieur détaché qui correspond directement avec l'ingénieur du matériel, s'il est chargé d'un grand atelier de réparation, mais qui, dans tous les cas, est sous les ordres directs du chef de la traction pour tout ce qui concerne le service des machines.

Le chef de la traction a sous ses ordres des *chefs de dépôt*

qui sont préposés, dans chacune des stations où il existe un dépôt de machines, à la direction de tous les détails du service ; ils commandent les *mécaniciens* et les *chauffeurs*, les *ouvriers* préposés à l'entretien courant des machines, les ouvriers de toute nature affectés au nettoyage, au chargement du coke, etc. Lorsque l'importance du dépôt le justifie, on adjoint au chef de dépôt, sous ses ordres, un *sous-chef de dépôt ;* lorsqu'au contraire un dépôt n'a qu'une importance très-secondaire et ne comprend, par exemple, qu'une machine de secours, on le confie quelquefois à un mécanicien de choix, qu'on relève de temps en temps.

Le chef de la traction a en outre, sous ses ordres, des employés spéciaux préposés à la réception, au magasinage et à la distribution du coke. Il peut encore avoir à sa disposition deux ou trois inspecteurs chargés de surveiller la comptabilité et la tenue des dépôts et des magasins de coke, l'exécution des règlements et instructions et tous les détails de service ; il est essentiel que leur action se borne à un contrôle très-sérieux, mais sans intervention personnelle dans les actes des agents responsables qu'ils ont à surveiller et non à diriger. Il convient, en outre, d'avoir un inspecteur principal ou plus exactement, pour éviter toute équivoque, un sous-chef de traction, choisi parmi les mécaniciens ou chefs d'atelier instruits et expérimentés, qui surveille l'état des machines, le travail des dépôts, la conduite, etc., et qui ait toute l'autorité nécessaire pour faire des observations, donner des conseils et, au besoin, des ordres à tous les employés du service actif.

Le personnel des dépôts comprend des *mécaniciens*, *élèves-mécaniciens*, *chauffeurs*, *ouvriers de l'entretien*, *nettoyeurs et laveurs*, *chargeurs de coke ;* dans les grands dépôts où le service des machines prend son point de départ, on place, indépendamment du sous-chef de dépôt, un *distributeur* des matières d'usage journalier, autres que le coke ; cet agent est employé en même temps à tenir les écritures de statistique et de comptabilité ; il est enfin nécessaire d'y placer un *chauffeur de nuit* qui surveille, pendant la nuit, les machines allumées, qui prépare et allume les

machines qui doivent prendre le service le matin. Ce dernier agent est pris parmi les anciens chauffeurs ; sa responsabilité étant très-grande, il faut que ce soit un homme connaissant bien les machines, ayant beaucoup d'ordre, très-soigneux et d'une conduite irréprochable.

Deux systèmes peuvent être adoptés pour l'entretien des machines dans les dépôts, entretien qui peut être plus ou moins complet et empiéter plus ou moins sur la grande réparation qui se fait toujours dans les ateliers proprement dits. On peut faire entretenir les machines par les mécaniciens eux-mêmes, de manière à ne les faire rentrer qu'à de longs intervalles dans les ateliers spéciaux de réparation, ou bien on peut ne faire des mécaniciens que de simples conducteurs, prenant leur machine au moment du départ et la quittant au moment de l'arrivée ; chaque grand dépôt comprend, dans ce dernier cas, un certain nombre d'ouvriers, et spécialement de monteurs, qui entretiennent les machines sur les indications fournies par les mécaniciens qui les montent et sous la direction et la surveillance du chef de dépôt.

Dans le dernier système, les hommes que l'on prend comme mécaniciens, n'ont besoin d'aucune instruction préalable ; on peut les choisir parmi les chauffeurs qui se sont fait remarquer par leur intelligence, leurs soins dans tous les détails du service, et par leur bonne conduite et qui obtiennent ainsi une amélioration considérable dans leur position ; dans ce cas, ils sont généralement plus attachés que d'autres à leur profession, et se soumettent plus facilement à toutes les nécessités du service. L'avantage de ce système est de réduire au moindre nombre possible le personnel des mécaniciens et des chauffeurs, qui forme toujours un des gros articles du chapitre des frais de traction. La main-d'œuvre d'entretien, lorsque celui-ci est fait par des ouvriers d'ateliers, est moins coûteuse, mais il reste à examiner si la somme totale de cette main-d'œuvre et le résultat obtenu ne compensent pas largement cet inconvénient.

Dans le premier système, les mécaniciens doivent être choisis parmi les monteurs les plus habiles ; non-seulement ils font à

leur machine, dès qu'ils ont un instant, les petites réparations qui peuvent prévenir l'usure rapide des pièces, mais encore ils complètent cet entretien de tous les instants par les travaux périodiques qu'ils peuvent exécuter pendant les jours de repos ; s'il y a lieu, ils cessent de marcher pendant quelques jours et exécutent toutes les réparations nécessaires pour remettre leur machine en bon état de service et se font aider, pour cela, par quelques ouvriers spéciaux, attachés à cet effet au dépôt, mais qui travaillent alors sous leur direction et non plus seulement sur leurs indications.

Ce système, lorsqu'on ne l'exagère pas, en faisant exécuter aux mécaniciens des réparations de trop longue haleine et qui exigeraient en réalité la rentrée aux ateliers, présente des avantages incontestables sur le précédent ; il n'apporte pas, du reste, un obstacle absolu à l'avancement des simples chauffeurs, car, s'ils ont toutes les qualités nécessaires pour devenir bons conducteurs et lorsqu'ils ont acquis, par un long exercice, la connaissance intime de toutes les pièces de la machine, ils peuvent, par un stage assez court aux ateliers, se mettre en état de réparer la machine qu'ils sont déjà très aptes à conduire. Les réparations sont faites à temps souvent dans l'intervalle des voyages qui forment le service d'une journée, sans que le mal puisse s'aggraver prématurément et occasionner des dégradations importantes ou des ruptures de pièces. Lorsque les machines rentrent au dépôt, les réparations sont faites par celui qui en connaît le mieux la nécessité, qui fait celles qui sont urgentes et qui, plus que tout autre, est intéressé à ce qu'elles soient promptement et bien faites et à ce qu'il ne soit pas fait de travaux inutiles, car il ne lui est pas indifférent que la machine reste plus ou moins longtemps hors de service. En effet, les primes d'économie de coke, de régularité de marche, etc., ne l'intéressent pas seulement à avoir une machine en très-bon état pour faire le bon service qui devient pour lui une source de profits, il est également intéressé à ne perdre aucun tour de service et à éviter tous les chômages ; il arrive à maintenir pendant longtemps sa machine en service, il s'y attache et finit par en obtenir des résultats remarquables comme économie et durée de service. Dans

l'autre système, au contraire, les machines ne sont entretenues que par intervalle; elles sont généralement au-dessous de ce qu'on peut appeler un bon état de service ; les réparations partielles durent plus longtemps et sont en somme plus couteuses; les réparations générales sont plus fréquentes.

Cette question n'est pas, du reste, susceptible d'une solution absolue; il est nécessaire de tenir compte de la nature du service de chaque ligne. Sur les chemins de fer d'une faible longueur où il n'y a pas lieu d'établir de séparation entre l'atelier et le dépôt, où la moindre importance de l'un et de l'autre permet d'exercer une grande surveillance, le deuxième système peut devenir avantageux ; il le devient surtout si la somme des parcours que peut faire une machine dans une journée ne représente pas un travail trop considérable pour le mécanicien, de telle sorte que celui-ci puisse sans inconvénient rester presque constamment sur pied. Au contraire, sur les lignes où les machines effectuent, chaque jour de service, un parcours considérable et où il est nécessaire, pour le conducteur et pour la machine elle-même, de couper le service par des temps de repos très-multipliés, il convient de faire réparer la machine par le mécanicien, car, sans cela, il resterait oisif pendant une grande partie du temps. C'est avec des considérations de cette nature qu'on devra, dans chaque cas particulier, mettre en balance l'avantage du moindre coût de la main-d'œuvre des réparations pour le premier système et pour le second l'avantage de réduire, par l'entretien de tous les instants, par la connaissance exacte qu'a le mécanicien du travail à faire, par l'intérêt qu'il a de maintenir la machine dans le meilleur état, en ne faisant cependant que le strict nécessaire, l'avantage de ne pas faire passer incessamment les hommes d'une machine sur l'autre, enfin de les attacher à *leur* machine.

Nous avons dit que lorsque les mécaniciens devaient réparer leur machine, il fallait les faire aider par quelques monteurs; trois de ces ouvriers auxiliaires, pour un dépôt qui comprend quinze à seize mécaniciens, sont en général suffisants, lorsqu'on est à proximité d'un grand atelier où l'on peut porter les pièces

à la forge; dans le cas contraire, il faut en plus, selon l'importance du dépôt, un forgeron et un ou deux ouvriers qui sachent tourner et travailler la chaudronnerie de cuivre.

La profession de mécanicien, au point où l'exploitation des chemins de fer est arrivée maintenant, n'est pas plus dangereuse que beaucoup d'autres professions industrielles; elle l'est d'autant moins que les hommes qui l'embrassent sont plus prudents, car, le plus souvent, ils ne sont que les premières victimes de leur négligence ou de leur imprévoyance; elle n'a rien de pénible et de fatigant pour des hommes d'une bonne constitution; elle est largement rétribuée et n'exige qu'un court apprentissage, elle est par suite très-recherchée; on peut donc choisir dans les ateliers les ouvriers les plus distingués et composer ainsi un très-bon personnel.

Il est indispensable de choisir pour mécaniciens des hommes froids, courageux, ayant de la présence d'esprit et un bon jugement, car c'est sur eux, surtout, que repose la sécurité des nombreux voyageurs que porte chaque convoi. De plus, pour bien conduire la machine locomotive, il faut au mécanicien un esprit observateur, de l'intelligence et de l'activité. Enfin, la docilité et un dévouement complet qui ne fait jamais reculer devant aucune des exigences du service, sont également indispensables; nous ne parlons pas ici de la sobriété et de la régularité de conduite qui sont des conditions d'une nécessité absolue.

Les ouvriers qui remplissent les conditions que nous venons d'énumérer doivent être seuls admis comme mécaniciens; ils ne doivent eux-mêmes demander leur admission que s'ils se sentent une vocation bien éprouvée.

Les chauffeurs doivent présenter les mêmes garanties morales et physiques que les mécaniciens; ils doivent être robustes pour résister à la fatigue du service dont ils sont chargés; il convient, en général, de choisir les chauffeurs parmi les manœuvres les plus laborieux, les plus actifs et les plus dociles du dépôt, qui cherchent ainsi à se faire une profession avantageuse et assurée.

§ 2. — Dépôts de machines.

Lorsqu'une ligne de chemin de fer a une certaine importance, il est nécessaire de séparer les machines en service des machines en réparation ; indépendamment des ateliers réservés à la construction et aux réparations, il est nécessaire de disposer des locaux et des emplacements spéciaux pour mettre en dépôt et remiser les machines qui sont en état de service, pour les nettoyer, les allumer, les alimenter, etc. On distingue deux espèces de *dépôts de machines :* les dépôts principaux qui fournissent les machines destinées à la conduite des trains, et les dépôts intermédiaires où s'alimentent ces machines à leur passage et où, en général, sont placées les machines de réserve et de renfort qui font le service de *machines-pilotes*.

1° Dépôts principaux. — Les dépôts principaux contiennent : les bâtiments de remisage des machines et tenders, une série de voies de service et de stationnement pour les machines en feu, une ou plusieurs plaques tournantes de grande dimension, sur lesquelles on peut tourner ensemble ou séparément chaque machine et son tender, des réservoirs d'alimentation avec leurs accessoires et des emplacements pour les approvisionnements de coke. Ces diverses parties d'un dépôt doivent être disposées de manière à ce qu'on puisse facilement déplacer une machine sans déranger les autres, et groupées de telle sorte que la surveillance soit facile et que les manœuvres à bras de machines éteintes ne se fassent que très-rarement.

Les bâtiments de remisage doivent remplir les conditions suivantes :

1° Qu'on puisse facilement entrer ou sortir une machine sans en déplacer d'autres, la manœuvre d'une machine qui n'est pas en feu exigeant beaucoup de temps, employant beaucoup d'hommes et entraînant des frais assez considérables, si elle se renouvelle souvent;

2° Que la fumée et la vapeur qui se produisent lorsqu'on allume

une machine ou qu'on la met en mouvement, trouvent des issues faciles et des écoulements bien ménagés, afin qu'elles ne gênent pas les ouvriers et qu'elles n'oxydent pas les pièces des autres machines ;

3° Qu'il y ait assez de jour en tous sens pour que l'on puisse facilement travailler sous les machines et dans toutes leurs parties;

4° Que l'espace libre autour de chaque machine soit suffisant pour que l'on puisse y déposer les pièces qu'on démonte, sans que cela gêne les mouvements ou le travail des machines voisines ;

5° Qu'en hiver on puisse maintenir dans la remise une température suffisante pour empêcher la congélation de l'eau.

Ces conditions ont été remplies de diverses manières. On a construit des bâtiments rectangulaires contenant une série de voies parallèles, desservies par une ligne de plaques tournantes ou par un chariot qui peut amener les machines sur chacune de ces voies. Un chariot placé à l'extérieur ne permet de remiser qu'une seule rangée de machines, et si on le place à l'intérieur, il en dessert deux ; mais il devient gênant pour le service, à cause de la force qu'il nécessite et il oblige, en outre, à couvrir un espace considérable non utilisé. Le chariot est du reste d'une manœuvre lente et pénible. Cependant, il est souvent préféré à une rangée de plaques tournantes dont l'établissement est fort coûteux.

En plaçant deux ou trois voies dans la longueur d'un bâtiment rectangulaire et les coupant par des lignes transversales de plaques tournantes, distantes entre elles de deux longueurs de machines, on arrive à entrer ou sortir chacune des machines indépendamment les unes des autres, et cette disposition est plus économique que la précédente comme dépense journalière de main-d'œuvre. Mais, dans l'un comme dans l'autre cas, on est obligé de séparer la machine du tender et de faire des manœuvres à bras assez importantes pour chaque entrée et pour chaque sortie de machines.

Il est plus avantageux, lorsque le terrain le permet, de disposer le bâtiment de telle sorte que les voies, au nombre de deux ou trois, soient réunies à l'extérieur du dépôt par des changements de voie ; lorsqu'il devient nécessaire de déplacer des machines, on peut le

faire sans main-d'œuvre et sans séparer le tender de la machine, au moyen de la machine-pilote ou de l'une des machines en stationnement.

On adopte très-fréquemment une disposition dans laquelle les voies sont placées de manière à converger vers un seul et même point, qui sert de centre à une plate-forme unique sur laquelle on tourne à la fois ou séparément la machine et le tender. Cette plate-forme sert non-seulement à faire passer les machines sur les voies de la remise, mais aussi à tourner toutes les machines qui arrivent d'un autre dépôt et qui doivent repartir dans la journée. Dans ce système, on a exécuté deux dispositions de bâtiments, les uns de forme polygonale ou circulaire, au centre desquels se trouve la plaque tournante et les autres de forme demi-circulaire, n'ayant que la profondeur d'une locomotive et laissant la plaque tournante au dehors. Ces derniers, dans lesquels la surveillance est peut-être un peu moins facile que dans les précédents, ont l'avantage de ne couvrir que l'espace réellement nécessaire au remisage; quelquefois, cependant, on a compris la plaque tournante sous la même couverture que les voies de remisage.

Depuis quelques années, on fait assez généralement usage de plates-formes tournantes de 10^m à 12^m de diamètre qui servent à tourner à la fois la machine et le tender; un engrenage manœuvré par deux ou trois hommes les met en mouvement. Ces appareils sont très-utiles et doivent être appliqués partout où il y a un mouvement assez important de machines; mais on doit éviter de les établir avec un luxe inutile, car on aurait bien vite dépensé en capital ce que l'on économiserait en salaire journalier.

Lorsque les voies de la remise sont établies sur un plan parallèle, on place la grande plate-forme tournante sur la voie qui leur sert de tronc commun, ou mieux sur une voie isolée, en communication par des changements de voie avec les voies de stationnement.

Un point important dans la construction des remises de machines, c'est de ne pas restreindre les dimensions d'après celles en longueur, largeur et hauteur de machines existantes. Lorsqu'on

construit il faut, au contraire, réserver de larges espaces sur les voies de remisage et dans tous les passages, ainsi qu'autour des chariots ou plaques tournantes. Faute de cette prévoyance, il arrive aujourd'hui, sur beaucoup de chemins de fer, que dans les études du matériel, on ne peut plus profiter des progrès de l'art et satisfaire aux besoins de l'exploitation, comme on le ferait si on n'était pas entravé par les conditions fâcheuses dans lesquelles les constructions ont été établies. Ce que nous disons là des remises s'applique également aux travaux d'art, stations et plaques tournantes.

Les remises de locomotives doivent recevoir le jour par de larges et nombreuses fenêtres placées sur toutes leurs faces et descendant assez bas pour éclairer l'intérieur des fosses sur lesquelles on place les machines. Il convient également que des châssis vitrés soient placés dans la couverture du bâtiment. Pour l'aérage, on ménage, en général, des ouvertures sous les sablières et au sommet du comble de manière, à établir un tirage qui enlève facilement la fumée. Ces ouvertures doivent pouvoir se fermer à volonté pour que le froid ne gène pas le travail des ouvriers et ne fasse pas geler l'eau des machines pendant la saison d'hiver. Mais cet aérage ne suffit pas, quelque bien établi qu'il soit; chaque jour on allume plusieurs machines et on voit bientôt les pièces de celles qui restent en réserve dans la remise se couvrir de rouille. Cette insuffisance se manifeste surtout pendant l'hiver, car on ne peut pas laisser les portes de la remise ouvertes en permanence. C'est pour cela que dans plusieurs dépôts on a établi, au-dessus de chaque emplacement de machine, une cheminée terminée par une base mobile en forme de cône renversé, qui s'abaisse sur la cheminée des machines qu'on allume, et qui non-seulement empêche la fumée de se répandre à l'intérieur, mais encore accélère très-sensiblement leur mise en vapeur.

Sur l'emplacement que doit occuper chaque machine dans un dépôt, on établit, comme nous l'avons déjà dit, une fosse qui permet de passer facilement sous la machine et d'y travailler. La profondeur de ces fosses au-dessous du niveau des rails varie de 0m 70

à 0m 90 ; le fond est pavé et incliné vers un caniveau de dégagement, pour l'écoulement des eaux des machines et des tenders que l'on vide ou qu'on lave.

La charpente des remises de locomotives se fait à peu près indifféremment en fer ou en bois. Le bois ne paraît présenter aucun danger, surtout lorsqu'on emploie les cheminées d'allumage dont nous avons parlé. Mais pour la couverture, on doit éviter l'emploi du zinc ou de la tôle, métaux qui sont promptement corrodés par la condensation de la vapeur d'eau et des vapeurs acides qui se produisent en grande abondance dans toutes les remises, surtout pendant l'allumage.

Auprès de chaque fosse il convient de placer des établis d'ajusteurs avec étaux et des armoires pour les outils et vêtements des machinistes et ouvriers attachés au dépôt.

2° Voies de service. — Indépendamment de la voie conduisant à la remise, il doit y avoir dans tout dépôt principal une voie d'une certaine étendue, sur laquelle les machines puissent aller et venir pour s'alimenter sans devenir une cause d'accidents et des voies de stationnement communiquant par leurs deux extrémités avec la voie de service, sur lesquelles viennent se placer les machines qui attendent leur tour de départ. La disposition de ces voies doit être telle que chaque machine puisse, sans déranger les autres, prendre le train qu'elle doit conduire ou atteindre la voie destinée à l'alimentation.

Enfin, une voie spéciale, communiquant avec la remise sur laquelle sont placées des fosses, doit être réservée pour le lavage des machines. Sur une voie peu fréquentée par les machines en service, on dispose une grue puissante qui sert à lever les machines, pour visiter ou changer les coussinets des boites à graisse, remplacer les essieux montés, etc.

La bonne disposition des voies d'un dépôt a une très-grande importance ; car une machine bien préparée peut, si elle n'est pas dérangée, rester pendant un très-longtemps en feu (huit et dix heures) sans consommation sensible de combustible ; tandis que,

si elle est obligée de faire des manœuvres, le feu s'active par la marche et, lorsque la machine est revenue en place, le coke se consomme en produisant de la vapeur en pure perte, la chaudière s'épuise et bientôt il faut alimenter, ce qui augmente la consommation et reproduit les mêmes conditions fâcheuses ; en outre, ces mouvements peuvent forcer d'autres machines à se déplacer et devenir ainsi une source indéfinie de consommation et de dépense. Nous reviendrons sur ce point en parlant de la conduite des machines et nous indiquerons quelle influence considérable peu avoir, sur la marche et la consommation, la manière de tenir les machines en feu dans les dépôts. On doit encore chercher à éviter les manœuvres de machines, à cause des accidents qui peuvent en résulter et aussi parce qu'elles font perdre du temps aux nettoyeurs et aux mécaniciens qui pourraient avoir des travaux à faire à leur machine.

Des fosses nombreuses doivent être établies sur les voies de stationnement des locomotives, afin de permettre de les visiter, de les réparer et de les nettoyer. Ces fosses doivent être semblables à celles que nous avons indiquées pour les remises. Les fosses placées sur des voies que l'on doit souvent traverser la nuit occasionnent fréquemment des accidents, si on ne prend pas de précautions pour prévenir les personnes qui pourraient y tomber. Pour cela, sur quelques chemins, on a mis en face de chacune d'elles des perches à 1^m de hauteur; mais ce moyen est assez gênant, lorsqu'il n'y a pas beaucoup d'espace entre chaque voie. En plaçant, dès que la nuit arrive, dans l'intérieur de chacune d'elles de petites lampes, on les rend parfaitement visibles et on remplit le même but.

3° Magasin de coke. — Les terrains destinés aux dépôts de coke doivent être aussi rapprochés que possible des voies de stationnement des locomotives. Lorsque l'espace le permet, et surtout aux points où il faut donner du coke aux machines à leur passage, il est très-avantageux d'établir, auprès de la voie où la machine stationne, une large estrade sur laquelle on pose les paniers et

d'où on peut directement les décharger dans les tenders. On obtient, par ce moyen, une accélération très-sensible du service et une économie de main-d'œuvre. Les magasins principaux doivent être placés aux points d'arrêt ou de départ des machines ; cependant, il peut y avoir lieu de déroger à cette règle si les arrivages se font à un point intermédiaire, afin d'éviter des transbordements et des manutentions qui sont toujours une source de dépense et de déchet.

Dans quelques cas exceptionnels il convient de recevoir, pour une partie de la consommation journalière, le coke chargé au lieu de fabrication dans des sacs ou des paniers, et d'éviter ainsi le transvasement ; mais le plus souvent, le transport se fait en vrac sur des bateaux ou sur des wagons et il est nécessaire, au fur et à mesure du déchargement, d'empiler le coke en tas. On le reprend ensuite au moyen d'une pelle à grille, de manière à séparer le menu produit par le transport et la manutention, et on le charge dans des sacs ou des paniers qui sont déposés à proximité des voies de stationnement des machines. L'emploi des sacs ou des paniers est nécessaire pour mesurer le combustible délivré aux mécaniciens et pour faciliter le transport qui se fait à dos d'homme et le déchargement sur le tender ; ces récipients ont une capacité d'un hectolitre et pèsent de 35 à 40 kilog., suivant la nature du combustible. On emploie des sacs en forte toile de chanvre ou des paniers en osier ; l'administration des chemins de fer belges trouve un avantage marqué à faire usage de paniers en rotin ; cette matière ne s'altère pas par l'action de l'humidité et permet d'établir des paniers d'une très-grande durée.

4° Prises d'eau. — Ainsi que nous l'avons fait ressortir, on ne saurait attacher trop d'importance au choix de l'eau d'alimentation des machines et on ne doit pas reculer devant des dépenses, même importantes, pour se procurer une eau qui ne donne que peu ou point de dépôts adhérents aux parois des chaudières. Nous ne reviendrons pas sur cette question.

Pour élever l'eau, on doit choisir des appareils simples, solides

et peu susceptibles de dérangements, afin que le service ne souffre pas d'interruption. Dans les dépôts qui sont installés pour le ravitaillement des locomotives, on se sert de machines à vapeur; aux stations où l'on ne prend de l'eau qu'accidentellement, on se sert de pompes à bras; l'eau est recueillie dans des réservoirs d'une capacité assez grande que l'on maintient toujours pleins, de telle sorte qu'ils puissent suffire au service d'une journée au moins, en cas de réparations à faire aux pompes ou à la machine. Les réservoirs sont généralement construits en tôle; il convient de les diviser de manière à pouvoir les vider, les nettoyer et les réparer sans les mettre complétement à sec. Cette division permet aussi de chauffer l'eau qu'on donne aux locomotives, et elle pourrait être utilisée pour la précipitation préalable des matières incrustantes. L'élévation des réservoirs au-dessus du sol doit être telle que le remplissage des tenders se fasse rapidement, sans qu'on soit obligé de donner de trop fortes dimensions aux conduites ou robinets; elle doit, par conséquent, être en rapport avec la distance du point où stationnent les machines pour s'alimenter. Il est nécessaire d'entourer les réservoirs et de les couvrir pour empêcher l'action de la gelée; cette précaution est également indispensable lorsqu'on veut chauffer l'eau d'une manière permanente.

L'eau est distribuée aux tenders au moyen d'appareils qu'on désigne sous le nom de *grues hydrauliques*, qui sont en nombre variable suivant l'importance du dépôt. Il convient, dans tous les cas, qu'une de ces grues soit placée sur la voie par laquelle doit nécessairement passer toute machine qui va se mettre sur les voies de stationnement, afin que le tender étant rempli de suite, on puisse y envoyer l'excès de vapeur de la chaudière ou alimenter dès que le besoin s'en fera sentir. On profite, lorsqu'on le peut, de la position des réservoirs eux-mêmes pour y appliquer des tuyaux de prise d'eau qui remplacent les grues hydrauliques.

Indépendamment de l'alimentation des machines, les réservoirs doivent encore fournir de l'eau : 1° dans les remises de locomotives à proximité de chaque machine, pour remplir les chaudières

avant l'allumage; 2° auprès de la fosse de lavage des machines; 3° à une ou plusieurs bornes-fontaines pour le service et pour les hommes du dépôt. Enfin, il convient de profiter de l'élévation des réservoirs pour disposer quelques conduites en cas d'incendie qui serait fort grave dans un dépôt, attendu qu'il faut très-longtemps pour sortir et mettre hors de danger des machines éteintes.

On se sert ordinairement, pour le lavage des chaudières, d'une pompe manœuvrée à bras ou du jet produit par un réservoir spécial placé à une grande hauteur. Mais, lorsque la machine qui monte l'eau est dans le dépôt même, on peut s'en servir pour le lavage des machines, en lui faisant mettre en mouvement une pompe susceptible de produire un jet très-puissant.

5° Dispositions accessoires. — Auprès de la remise des machines on place ordinairement, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, une grue assez forte pour soulever une machine; cette grue sert à visiter les boites à graisse et les fusées, opération très-fréquente dans un dépôt.

Enfin, un dépôt doit comprendre : 1° un petit magasin destiné aux matières de consommation courante, telles que huile, suif, chanvre, minium, etc.; 2° un bureau pour le distributeur qui tient la comptabilité du dépôt et délivre les matières autres que le coke; 3° un bureau pour le chef de dépôt; 4° un corps-de-garde pour les hommes de service, avec un lit de camp et des appareils de chauffage, disposés de manière à sécher les vêtements mouillés; 5° un dortoir pour les mécaniciens et les chauffeurs qui, venant d'autres dépôts, passent la nuit hors du lieu de leur résidence, ou pour ceux qui ont besoin de repos après avoir passé la nuit au service et qu'il est souvent utile de ne pas laisser s'éloigner; 6° des lieux d'aisance pour les employés et pour les ouvriers et manœuvres; 7° un logement pour le chef et le sous-chef de dépôt dont la présence, à toute heure du jour et de la nuit, est nécessaire, afin que le service ne soit jamais en souffrance.

6° Dépôts intermédiaires. — Ces dépôts, destinés à alimenter les machines à leur passage et à entretenir en feu des machines de secours, sont des établissements fort simples. Sur une voie s'embran-

chant sur les voies principales, on place un bâtiment contenant : une remise pour deux locomotives de réserve et un wagon de secours ; un bureau et un logement pour le mécanicien chef de ce dépôt ; un corps-de-garde pour les hommes de service ; un petit magasin d'objets de consommation courante, soit pour les besoins du dépôt, soit pour ceux des machines de passage ; des réservoirs et des appareils d'alimentation auprès de chacune des voies sur lesquelles les machines s'arrêtent.

Sur la voie de la remise, et en dehors des bâtiments, on place une plaque tournante destinée à tourner les machines suivant le sens dans lequel elles doivent marcher. Il convient que cette plaque tournante permette de manœuvrer en même temps la machine et le tender, afin de ne pas retarder le départ des secours et de ne pas exiger la présence d'un trop nombreux personnel.

Des fosses doivent être établies dans le bâtiment pour le service de la *machine-pilote* et sur les voies principales, au point où s'arrêtent les machines conduisant les trains, pour qu'on puisse y piquer le feu ou les visiter et au besoin les réparer. C'est auprès de ces fosses que sont placées les grues hydrauliques ou les réservoirs eux-mêmes, qui servent à remplir le tender pendant que la machine est en stationnement. Il est très-important, dans les dépôts intermédiaires surtout, que l'écoulement de l'eau soit très-rapide et se fasse par des tuyaux ayant 12 centimètres au moins de diamètre intérieur, afin que les trains ne soient pas retardés ; les réservoirs doivent être, en outre, à une hauteur de 4 à 5^{m}.

Dans ces dépôts, lorsqu'on puise l'eau sur place, il est très-avantageux de placer la machine à vapeur auprès du point de stationnement de la *machine-pilote*, car alors, en détachant un des raccords du tender et au moyen d'un conduit de vapeur pouvant mettre en communication le tuyau de la pompe de la machine locomotive avec la machine fixe, on fournit à celle-ci la vapeur au moyen du tuyau réchauffeur. On ne se sert donc que rarement du fourneau de la machine fixe, dans le cas seulement où la machine-pilote part au secours, sans que les réservoirs soient remplis ; il en résulte une économie importante, car la machine locomotive ne

consomme pas sensiblement plus que si on la tenait en feu sans l'utiliser.

La position des dépôts intermédiaires doit être déterminée par la qualité des eaux que l'on trouve sur les différents points de la ligne, car, nous ne saurions trop le répéter, il est indispensable d'employer de l'eau de bonne qualité. Il est bien entendu que cette règle ne peut s'appliquer que dans certaines limites fixées par la distance à laisser entre les machines de secours et par la capacité qu'on peut donner au tender. Mais il est bien rare que ces limites ne soient pas assez étendues pour qu'on ne puisse pas rencontrer des eaux convenables. On aurait, du reste, beaucoup plus de facilité dans le choix des eaux si, au lieu d'arrêter à l'avance une seule et même dimension pour les caisses à eau de tender, comme on l'a fait jusqu'ici pour tous les chemins et pour toutes les machines, on donnait à ces caisses des dimensions en rapport avec la position des points d'alimentation.

Nous mentionnerons seulement à titre de rappel les galets d'alimentation que l'on dispose souvent dans les dépôts ; ils sont indispensables lorsqu'il n'existe pas de voies sur lesquelles les machines puissent marcher pour s'alimenter, sans courir sur les voies de circulation ; cette installation serait surtout utile dans les dépôts intermédiaires.

7° Chauffage de l'eau d'alimentation. — On peut chauffer l'eau d'alimentation des locomotives, en hiver seulement, pour l'empêcher de geler dans les réservoirs et dans les conduites, ou bien on peut, dans un but d'économie, la chauffer pendant toute l'année, de manière à n'introduire dans les tenders que de l'eau chaude. Dans le premier cas les appareils à établir sont simples et peu dispendieux. Dans le second il faut des appareils plus puissants et plus complets. Il convient donc d'examiner l'importance que peut avoir l'alimentation à l'eau chaude. Dans les machines fixes sans condensation, on a quelquefois tenté l'essai de l'alimentation à l'eau chauffée dans les réservoirs. Mais comme les chaudières peuvent avoir de très-grandes dimensions, qu'on a un

tirage par une haute cheminée, que l'on peut absorber ainsi la presque totalité de la chaleur produite par un combustible d'ailleurs moins cher que le coke et que, de plus, l'appareil de chauffage de l'eau ne sert qu'à une seule machine, il en est résulté que l'utilité qu'on a retirée de ce procédé n'a pas été assez importante pour compenser la dépense et la complication qui en résultaient lorsqu'on établissait un foyer spécial, et on a dû se borner à chauffer au moyen de la vapeur perdue, ce qui est du reste le moyen le plus rationnel.

Dans les machines locomotives, au contraire, le point important est de produire la plus grande quantité de vapeur avec la plus petite chaudière possible, et cela avec un combustible très-cher, en laissant échapper l'air chaud à une très-haute température et en employant une partie du travail moteur de la machine à produire la chaleur nécessaire. C'est donc avec une grande dépense que, dans les chaudières mêmes de ces machines, on amène l'eau froide à la température de 50 ou 60°, sans compter que l'alimentation à l'eau froide, dans une chaudière contenant peu d'eau, gêne beaucoup la marche. De plus, lorsqu'on alimente habituellement à l'eau froide, il arrive très-souvent, en hiver, qu'on se laisse surprendre et que les tuyaux et les pompes gêlent en route; il est même inévitable, pendant un hiver rigoureux, qu'on n'éprouve pas des accidents de ce genre si l'on n'a pas pris les mesures nécessaires pour chauffer l'eau des réservoirs.

Il y a donc un avantage incontestable à fournir aux locomotives de l'eau chauffée, au moyen d'appareils spéciaux, dans lesquels on emploie du combustible de qualité inférieure ou les déchets des magasins de coke, et qui permettent d'utiliser toute la chaleur produite. C'est surtout dans les dépôts intermédiaires qu'il importe de chauffer l'eau, parce qu'au départ la machine peut échauffer son eau au moyen de la vapeur qu'elle produit en stationnement et qu'en route cela devient à peu près impossible.

Lorsqu'on veut chauffer l'eau, il convient de n'opérer que sur une faible quantité d'eau à la fois et d'avoir pour cela de petits réservoirs spéciaux qui sont à volonté et, à mesure qu'ils s'épuisent,

mis en communication avec le réservoir principal. L'eau s'échauffe alors au moyen d'appareils à circulation continue, disposés pour cette opération. On y brûle de menu coke ou des briquettes faites avec le poussier de coke et les déchets de combustibles de tout genre. Si la machine qui sert à monter l'eau se trouve auprès des réservoirs, on peut avantageusement utiliser sa chaudière pour le chauffage de l'eau, en la mettant en communication avec le réservoir par deux tuyaux armés de robinets, disposés de manière à lui permettre de travailler à circulation continue. Lorsque la machine ne travaille pas, on ouvre le robinet du tuyau inférieur et, la chaudière remplie, on ouvre le second ; puis, lorsque l'on veut produire de la vapeur on ferme les robinets, on vide une portion de l'eau, et la machine peut reprendre sa marche. Dans les dépôts où on chauffe l'eau, il faut rapprocher autant que possible les réservoirs des points où ils doivent fournir l'eau, attendu qu'il y a refroidissement de l'eau contenue dans les conduites ainsi que de celle qui y passe.

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, la température de l'eau ne doit pas dépasser 60° à 70°, car au delà les pompes cesseraient de fonctionner régulièrement.

§ 2. — Outillage des machines.

L'outillage des machines peut se subdiviser en quatre catégories :

1° Les outils pour la conduite du foyer comprennent :

La pelle à coke, pelle longue, étroite, à bords relevés, surtout à l'arrière, disposée pour entrer facilement par la porte étroite du foyer et pour contenir à la fois le plus de coke possible, afin que le mécanicien ne soit pas obligé d'ouvrir un trop grand nombre de fois la porte par laquelle s'introduit de l'air froid nuisible à la production de vapeur, et aussi afin que dans le mouvement de la machine, le chauffeur, en chargeant rapidement, ne laisse pas tomber le coke s'il vient à heurter la porte du foyer. Cette pelle est montée sur un manche très-court terminé par une poignée, pour faciliter le

chargement du coke sur les côtés du foyer; elle s'use rapidement et il convient qu'elle soit aciérée;

Le pique-feu, tringle en fer de 2 mètres de longueur et 0m 020 de diamètre, terminée d'un bout par une poignée, de l'autre par une pointe plate formant crochet;

La lance, outil semblable au précédent, mais dans lequel le crochet est remplacé par une pointe en fer de flèche; il sert à jeter le feu, et pour cela on l'introduit par la porte à travers la couche de combustible, jusqu'au dessous de la grille; en plaçant la pointe triangulaire au travers de la grille et tirant à soi, on fait tomber les barreaux et le feu.

La tringle de la lance doit avoir au moins 0m 025 de diamètre, car, lorsqu'il faut jeter le feu en route, le foyer chargé, il est difficile de percer la couche de combustible; la tringle rougissant se tord facilement si elle est faible et l'opération devenant alors impossible, on est exposé par suite à brûler une chaudière;

La tringle à nettoyer les tubes, *la raclette* et *le balai*. Après un certain temps de marche il se dépose, à l'entrée des tubes, de la cendre qui se calcine, devient adhérente à la plaque tubulaire et bouche presque complétement les orifices. Pour l'enlever, lorsqu'elle est abondante et qu'elle adhère fortement, on passe sur toute la plaque une lame de tôle fixée à une tringle en fer qui en enlève la majeure partie. Si quelques tubes sont encore bouchés, on les nettoie avec une petite tringle aplatie et recourbée au bout, pouvant entrer dans le tube; puis enfin on frotte avec un balai de bouleau un peu fort. Souvent le balai seul suffit pour ce nettoyage si on l'emploie plusieurs fois dans un trajet;

La tringle à tamponner les tubes, ou forte tige de fer de 0m 025 de diamètre et de 2m de longueur, terminée par une douille qui reçoit le tampon en bois que l'on emploie pour boucher les tubes qui viennent à crever en marche.

Tous les outils que nous venons d'indiquer, ainsi qu'une forte pince en fer, doivent être placés sur le tender à portée du mécanicien.

2° Burettes et Bidons. — Pour le graissage des machines, il faut au mécanicien une provision de 4 à 5 kilog. d'huile dans un bidon solidement construit, afin que les secousses de la machine ne le fassent pas fuir. On se sert, pour graisser, de deux burettes à long col et d'une sorte de casserole en cuivre rouge, qui peut aller au feu pour fondre le suif.

3° Agrès. — Ils comprennent :

Un cric à double noix et un *vérin* sur patin en fer, avec vis de rappel, permettant de donner un mouvement de translation à l'objet soulevé. Ces deux appareils doivent être assez puissants pour permettre de soulever l'une des extrémités d'une machine ;

Une grosse pince en fer ;

Une prolonge ou corde de 15ᵐ de longueur et de 0ᵐ 06 de diamètre, armée à chacune de ses extrémités d'un crochet en fer. La prolonge sert à la manœuvre des trains lorsque la machine est sur une voie et le train sur l'autre, ou lorsqu'une machine doit faire passer un train sur une voie d'embranchement sans s'y engager elle-même.

4° Caisse a outils. — Une caisse contenant tous les objets dont le mécanicien peut avoir besoin pour l'entretien de la machine en service et pour le cas d'accident, savoir :

Des clefs à fourchette, dont le nombre varie selon le système de machine et qui est de six environ ;

Une clef à douille pour les pistons ;

Une clef anglaise ;

Trois limes bâtardes ;

Deux burins ;

Deux bédanes en acier fondu ;

Deux chasse-clavette ;

Deux chasse-goupille ;

Un tournevis ;

Une petite pince ;

Une petite tenaille ;

Une masse en fer de 3 kilog. pour chasser les tampons en bois dans les tubes crevés ;

Deux massettes en laiton ;

Un marteau rivoir ;

Une rallonge pour clefs ;

Un tire-bourre en acier pour enlever les garnitures ;

Un crochet servant également pour arracher les garnitures ;

Une lanterne de niveau d'eau ;

Six tampons en bois pour tubes.

Le mécanicien doit encore avoir dans sa caisse un assortiment de *goupilles*, du *chanvre*, du *fil de fer* et une *pelote de forte ficelle*. Enfin, dans la caisse doit être affichée la liste complète des outils avec leurs valeurs.

Tous les outils et ustensiles d'une machine, sans aucune exception, doivent être marqués à son numéro. On doit exiger du mécanicien qu'il les tienne toujours au complet, bien entretenus en état de service et parfaitement en ordre. Il est nécessaire, pour cela, d'exercer sur les caisses à outils une surveillance active et fréquente. Tout mécanicien qui perd un outil doit en payer la valeur en le faisant remplacer de suite ; il doit, en outre, subir une amende sévère toutes les fois qu'on trouve dans sa caisse un outil appartenant à une machine autre que la sienne.

CHAPITRE II.

Machines en service.

Les détails du service journalier sont nombreux ; depuis le moment où une machine est allumée jusqu'à celui où elle rentre à son dépôt, elle exige une attention toute spéciale de la part du mécanicien qui la conduit et de la part des chefs de dépôt qui la surveillent ;

la conduite surtout exige des soins tout particuliers pour la conservation de la machine, l'économie de la consommation, la régularité et la sécurité de sa marche. Exposer les préceptes généraux qui peuvent être formulés à ce sujet, tel est l'objet que nous nous proposons de traiter dans le présent chapitre.

§ 1er. — Service des Dépôts

1° Allumage. — L'allumage des machines est réglé par la feuille dressée par le chef de dépôt, qui indique l'ordre dans lequel les machines doivent prendre le service ; il est confié au chauffeur de nuit pour les machines qui doivent prendre le service dans la nuit ou le matin, et aux mécaniciens eux-mêmes pour celles qui doivent partir dans la journée. Les machines sont préparées à l'avance, c'est-à-dire qu'elles ont le feu chargé et la chaudière remplie d'eau. Le chauffeur de nuit, connaissant le temps qu'il faut à chacune pour monter en vapeur, temps qui peut varier d'une heure selon les conditions de chaudière et de cheminée, les allume à l'heure voulue pour qu'elles se trouvent prêtes quelque temps avant l'heure du départ. En hiver, l'allumage doit être un peu avancé, afin que le mécanicien puisse réchauffer l'eau de son tender avant son départ et empêcher ainsi ses pompes de geler en route. C'est d'ailleurs au mécanicien à indiquer au chauffeur de nuit combien de temps avant l'heure du départ il veut que sa machine soit prête. On doit à ce sujet lui laisser quelque latitude.

Le réchauffement de l'eau du tender par la vapeur avant la mise en marche est d'ailleurs toujours avantageux, attendu que pendant le stationnement le tirage étant presque nul, toute la chaleur est utilisée pour produire la vapeur qui est conduite dans le tender, tandis qu'en marche l'air chaud sortant à une très-haute température, on ne réchauffe l'eau froide introduite dans la chaudière qu'avec une grande perte de chaleur, ainsi que nous l'avons déjà dit à propos des réservoirs. Lorsqu'on veut ainsi réchauffer l'eau avant le départ, il faut que la chaudière soit remplie à une assez grande

hauteur, afin qu'il en reste encore une quantité suffisante au moment du départ. La quantité de coke que l'on met dans le foyer ne doit être que celle strictement nécessaire pour faire monter la machine en vapeur. Autrement il y a perte de chaleur et la machine part avec un coke trop allumé et déjà épuisé. On ne saurait, du reste, apporter un soin trop minutieux à la préparation des machines avant leur départ; on verra plus loin qu'il n'y a pas possibilité de bonne marche et d'économie sans cela.

Le premier devoir d'un mécanicien ou d'un chauffeur de nuit, avant de mettre le feu dans une machine, est de s'assurer que la chaudière est bien réellement remplie d'eau. Pour cela il ne doit pas s'en rapporter à l'apparence de l'eau dans le tube du niveau, il doit en manœuvrer tous les robinets en s'assurant qu'ils fonctionnent bien, puis faire une seconde vérification par les robinets d'épreuve. Cette opération doit se faire, quelque conviction que l'on puisse avoir que la chaudière est pleine et même lorsqu'on vient soi-même d'y introduire l'eau, car le niveau peut donner une indication fausse. Si nous insistons autant sur ce point, c'est qu'il n'y a pas de chemin où plusieurs chaudières n'aient été brûlées faute de ces précautions. Avant de mettre le feu dans une machine, il faut encore s'assurer que le régulateur est fermé, le levier de changement de marche placé au point mort et le frein du tender serré. Tout cela est encore indispensable.

On allume la machine en intercalant entre la grille et le coke froid des copeaux, des tronçons de fagots ou du bois résineux, et en y mettant le feu par-dessous au moyen d'un paquet de chiffons gras enflammés, que l'on présente au bout du pique-feu.

2° Alimentation dans les gares. — A moins de circonstances exceptionnelles, un mécanicien qui conduit bien et qui a soin de sa machine, ne doit pas avoir besoin d'alimenter en stationnement, quel que soit le temps qui s'écoule entre l'allumage ou son arrivée et son départ. Cependant, lorsqu'une machine a besoin d'être alimentée on doit, autant que possible, attendre qu'elle commence à avoir un excès de vapeur et en profiter pour la mettre en mouve-

ment. Alors, après s'être assuré que la voie est libre, le mécanicien met sa machine en marche à très-petite vitesse et ouvre ses deux pompes, afin de dépenser le moins de vapeur possible et d'obtenir plus d'effet utile des pompes, qui en rendent d'autant plus qu'elles fonctionnent plus lentement. Lorsqu'il existe dans un dépôt des galets pour les machines à roues indépendantes, le mécanicien ne doit ouvrir le régulateur que d'une petite quantité afin de ne pas faire marcher trop vite le mécanisme; les deux pompes doivent être ouvertes à la fois. Ces précautions sont indispensables pour ne pas faire fonctionner inutilement la machine et occasionner une usure sans but utile.

3° Chargement du tender. — Dès son arrivée au dépôt, et après que sa machine est tournée, le mécanicien doit faire remplir son tender d'eau et de coke, de telle sorte qu'il puisse réchauffer avec l'excès de vapeur que, dans aucun cas, on ne doit laisser perdre par les soupapes, et aussi pour que, sans déranger d'autres machines et sans perdre de temps, il soit toujours prêt à partir en cas de besoin. Le coke se délivre sur la demande du mécanicien qui indique la quantité que l'on doit en charger. Il est tenu d'assister à ce chargement et souvent on l'oblige de donner reçu de la quantité livrée.

4° Extinction et lavage. — Lorsque le service d'une machine est terminé, le mécanicien jette son feu avant de la faire rentrer au dépôt. Cette opération se fait sur une voie ordinaire, auprès d'une fosse dans laquelle descend le chauffeur pour sortir du cendrier le feu que le mécanicien y a fait tomber au moyen de sa lance. Une machine dont on jette le feu doit avoir encore assez de pression dans sa chaudière pour pouvoir être conduite jusqu'à sa place dans la remise, sans l'intervention d'une autre action que celle de la vapeur sur les pistons.

Le lavage des machines se fait à des époques fixées par le chef de traction, d'après le parcours effectué et le degré de pureté des eaux. Cette opération fort importante doit être confiée au chef

d'équipe des manœuvres du dépôt, qui en devient responsable.

La chaudière, ainsi que nous l'avons dit, doit être munie de bouchons à vis ou autoclaves qui permettent de lancer un fort jet d'eau et de passer une tringle, d'abord au-dessous des tubes et ensuite sur les quatre faces du foyer. L'opération se poursuit jusqu'à ce que, malgré l'agitation de la tringle et en dirigeant le jet en tous sens, l'eau sorte parfaitement claire. Si le mécanicien n'assiste pas au lavage il faut laisser sa chaudière ouverte. C'est lui-même qui la referme après s'être assuré qu'elle est complétement nettoyée.

Lorsque l'eau est très-impure, il est bon de profiter de la pression qui reste au moment de la rentrée de la machine, après le feu jeté, pour vider une partie ou la totalité de l'eau qui se trouve chargée de toutes les matières étrangères provenant de la quantité d'eau employée pendant tout le service. C'est ce que l'on appelle *vider à chaud.*

5° Service de nuit. — Lorsqu'il y a des trains de nuit, le sous-chef de dépôt doit rester de garde pour attendre les trains, ordonner les secours au besoin, faire rentrer les machines qui arrivent et veiller au service de la remise. Il ne conserve avec lui que le nombre d'hommes strictement nécessaire pour les manœuvres à effectuer pour la rentrée des machines. Pendant la nuit la remise doit être tenue constamment fermée. Le chauffeur de nuit a seul le droit d'y rester et ne doit pas la quitter. Il est responsable de tout ce qui peut arriver aux machines qui sont sous sa garde. La remise doit rester éclairée toute la nuit.

6° Visites au dépôt et nettoyage. — Lorsqu'une machine est rentrée au dépôt, le mécanicien procède à sa visite. Il en passe en revue toutes les parties; s'assure que toutes les clavettes et goupilles n'ont pas bougé; que, par la marche, les écrous ne se sont pas desserrés; puis il porte son attention sur toutes les parties qui lui ont paru avoir pris du jeu ou avoir subi quelque dérangement pendant la marche. Il donne du serrage aux coussinets qui en ont

besoin ; il refait les garnitures qui perdent et donne du serrage à celles qui s'usent. Il ne doit laisser aucun détail du mécanisme sans examen. C'est au moyen de ces soins que l'on évite les accidents de route et qu'on conserve longtemps une machine en bon état. On voit fréquemment des pièces se briser et des machines manquer en service sans qu'on s'en explique bien la cause, qui cependant n'est autre que le manque de soin dans la visite journalière.

Pendant que le mécanicien fait la visite de sa machine, le chauffeur doit s'occuper du nettoyage. Pour cela il commence par les tubes, dans lesquels il passe avec soin une longue tringle flexible ; la cendre qui reste à l'intérieur des tubes et y adhère forme bientôt, si elle n'est pas régulièrement enlevée, une croûte qu'on ne peut plus en détacher et qui, étant peu conductrice de la chaleur, réduit très-sensiblement la production de vapeur. Lorsque le chauffeur sent dans un tube quelque obstacle indiquant un commencement d'obstruction, il doit en prévenir le mécanicien qui, au moyen d'une tringle disposée à cet effet, enlève l'incrustation avec les précautions nécessaires pour ne pas crever le tube. Les tubes nettoyés, le chauffeur passe le balai dans toutes les parties de la boîte à fumée pour en détacher la cendre qui s'y est attachée, puis il nettoie le tuyau d'échappement qu'il prend d'avance le soin de boucher avec un tampon de chiffons, afin que rien ne puisse tomber dans le cylindre ; enfin il râcle et balaie la cheminée, dont la propreté à l'intérieur influe très-sensiblement sur le tirage de la machine.

Il place ensuite lui-même les barreaux de grille sous la surveillance du mécanicien qui est responsable des accidents qui pourraient arriver, si ces barreaux étaient mal placés, s'ils étaient trop courts ou trop longs.

La chaudière préparée, le chauffeur s'occupe du mécanisme et nettoie spécialement les parties les plus difficiles à atteindre lorsque la machine est en feu et en service et qui sont celles que les nettoyeurs négligent ordinairement. Le travail du chauffeur doit être fait avec toute l'intelligence que peut y apporter un homme

qui connaît une machine et qui la suit continuellement. Il doit donc examiner si rien ne manque ou n'est dérangé dans les pièces qu'il nettoie et faire part au mécanicien de ce qu'il peut remarquer.

La machine passe ensuite entre les mains des *nettoyeurs*, manœuvres préposés spécialement à ce service, qui achèvent de nettoyer, de fourbir les pièces du mécanisme, qui nettoient la cheminée, l'enveloppe extérieure de la chaudière, etc. Il n'est pas indifférent de maintenir les machines dans un grand état de propreté, c'est un des meilleurs moyens de visite, qui fait souvent découvrir des fissures, des criques qui annoncent un commencement de rupture; la propreté est nécessaire pour que le mécanicien s'attache à la machine et en prenne un soin particulier; le plus souvent, s'il rend très-sale la machine qu'il a prise bien nettoyée, c'est qu'il a apporté peu de soin à l'alimentation, ce qui a fait primer, ou qu'il a gaspillé l'huile et la graisse. Ce moyen de contrôle échapperait si les machines n'étaient pas nettoyées avec soin après chaque journée de service; elles ne tarderaient pas à se couvrir d'une couche de crasse qui rendrait à peu près impossible toute visite utile des pièces du mécanisme en marche ou en dépôt.

Le chef de dépôt doit lui-même visiter fréquemment les machines en service, au moment où elles sont en stationnement; il s'assure si le mécanicien a bien fait sa visite et s'il lui a donné avec intelligence tous les soins d'entretien nécessaires.

7° Réparations d'entretien courant. — Du soin qu'on apporte à faire en temps convenable les réparations d'entretien courant, dépend la durée du bon service d'une machine. Si, comme nous l'avons dit précédemment, on prend des mécaniciens capables de réparer leur machine, qu'on organise le service de manière à leur laisser un jour ou deux de séjour au dépôt, de temps en temps, si enfin on leur adjoint un ouvrier pendant quelques jours, lorsqu'ils ont beaucoup à faire et surtout aux époques où on tourne les bandages et où la machine est arrêtée pendant une dizaine de jours, et qu'à mesure qu'une pièce s'use l'atelier en prépare une de rechange, la machine peut

rester plusieurs années en service sans rentrer aux ateliers. Ce séjour des mécaniciens au dépôt n'est souvent, du reste, que le temps nécessaire à leur repos.

Un entretien courant, bien régulier, échelonne les travaux à faire aux différentes parties de la machine, de telle sorte qu'il est toujours facile de faire le nécessaire dans l'intervalle de quelques jours. On a, en outre, l'avantage de n'avoir en service que des machines toujours dans de bonnes conditions et de diminuer le nombre de celles qui sont nécessaires pour l'exploitation. Enfin, nous le répétons, le mécanicien finit ainsi par s'intéresser à sa machine, il en prend beaucoup plus de soin en route et en tire alors seulement le meilleur parti possible. Si on ne procède pas ainsi, le mécanicien et les ouvriers du dépôt qui prévoient que la machine doit bientôt rentrer en grande réparation, la négligent complétement au moment précisément où elle aurait le plus besoin de soins, de sorte que les dégradations s'aggravent de la manière la plus fâcheuse, et que les réparations deviennent très-coûteuses.

Il est au reste évident que si l'on fournit à un mécanicien des coussinets de rechange à mesure que ceux qu'il a sont usés, et qu'au premier jour de rentrée il en remplace un, et à la fin du service suivant un autre, s'il peut recevoir également d'autres pièces de rechange et qu'il répare ainsi successivement toutes les parties de sa machine, elle pourra, sauf le cas d'accident, marcher pendant un temps considérable.

Il n'y aurait en dehors de ce cas que le dressage des glissières, des guides de boîtes à graisse, des tiroirs et de leurs tables et le remplacement des segments de piston. Or, c'est pour ces réparations, qui n'ont lieu qu'à des intervalles de temps assez longs, qu'il convient d'adjoindre au machiniste un ouvrier habile, et alors elles peuvent se faire facilement, soit en profitant du moment du tournage des roues, soit en faisant doubler le service à une autre machine en bon état.

Il y a donc un grand avantage à intéresser le mécanicien à cet entretien successif et à maintenir sa machine en service. En parlant des primes, nous indiquerons comment on peut atteindre ce but.

Si les mécaniciens sont seulement chargés de la conduite des machines, ils signalent aux chefs de dépôt les réparations à faire, et ceux-ci les font exécuter par les ouvriers attachés *ad hoc* au dépôt ; lorsqu'elles ne peuvent pas être terminées dans les intervalles du service, le mécanicien monte sur une machine de rechange.

Nous allons maintenant passer en revue les diverses réparations d'entretien courant qui doivent être faites au dépôt, et nous indiquerons comment on doit procéder pour chacune d'elles.

Boîtes à graisse. Elles doivent être bien nettoyées, les mèches entretenues avec soin et remplacées dès qu'elles sont assez sales pour ne plus fonctionner. Les mèches n'étant ni trop grosses, ni trop minces, dans le premier cas, elles ne donnent pas assez d'huile, dans le second, elles en perdent inutilement. Le mécanicien s'assure que l'huile ne passe pas entre le coussinet et la boîte, et ne se perd pas ainsi sans graisser la fusée. Le meilleur moyen pour cela est de prolonger le tube qui reçoit la mèche jusque dans le coussinet, et de faire descendre la mèche jusqu'auprès de la fusée, sans cependant qu'elle la touche, car dans ce cas elle est pincée entre elle et le coussinet et est entraînée.

Lorsqu'une boite à graisse a chauffé en route et jusqu'à l'arrivée, on doit visiter la fusée et le coussinet en ôtant le dessous de boîte, et s'il y a lieu en levant la machine à la grue, pour s'assurer qu'il n'y a pas eu grippement; si les surfaces ne sont pas altérées, il suffit de laver et bien nettoyer le tout, et de remettre des mèches neuves dans les siphons. Une précaution importante lorsqu'on place les mèches, c'est de les bien imbiber d'huile avant de les introduire dans les tubes graisseurs ; sans ce soin il arrive souvent que même en versant beaucoup d'huile sur le tube et la mèche, la partie qui doit faire siphon reste sèche et que les fusées grippent. Si la fusée ou le coussinet présentent des traces de grippement, on les remet en état au moyen d'une lime douce, en ayant le soin de faire sur le coussinet un sillon croisé pour conduire l'huile, sans quoi le grippement recommence presque infailliblement.

De temps en temps il faut, lorsqu'on juge que les coussinets s'usent, refaire les rainures destinées à conduire l'huile sur toute

la surface de la fusée, ou les nettoyer si elles sont encore assez profondes, attendu qu'au bout d'un certain temps elles s'emplissent de limailles détachées des métaux qui s'usent ou de la poussière qu'entraîne la fusée.

Il arrive quelquefois qu'après un certain parcours une fusée s'échauffe sans cause apparente; cela tient en général à ce que le coussinet usé par le frottement pince la fusée sur ses faces latérales. Cela est plus fréquent dans les boîtes dont les coussinets ont la forme d'un demi-octogone, car le coussinet, portant sur deux plans inclinés, finit par se rèsserrer. Dans ce cas, comme lorsqu'on place un coussinet neuf, il faut lui donner un diamètre intérieur un peu plus grand que celui de la fusée. Cette opération doit être faite avec soin en plaçant le coussinet dans la boîte et le présentant sur la fusée enduite de rouge. Il arrive fréquemment que des ouvriers inintelligents donnent trop de jeu sur les côtés, et alors il en résulte qu'il n'y a plus de contact que sur une très-petite surface ou bien que la fusée, surtout celle de l'essieu des roues motrices, prend du jeu dans les coussinets.

Bielles. Pour la grosse tête de bielle, il convient que les coussinets se touchent et soient fortement serrés l'un contre l'autre tout en laissant entre eux et le tourillon, le jeu nécessaire pour la liberté du mouvement. On arrive à ce résultat en diminuant les parties en contact des deux coussinets à mesure qu'on donne du serrage, ou en plaçant à l'avance entre eux des lames de métal qu'on amincit à mesure que l'on veut donner du serrage. C'est aussi ce qui se fait pour les colliers d'excentrique. Les épaisseurs qu'on place derrière les coussinets doivent se mettre tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, selon le système de bielle, afin de ne faire que compenser l'usure et le serrage sans changer la longueur de la pièce. Pour apprécier le serrage que l'on donne, la meilleure méthode consiste à serrer fortement et à fond, puis ensuite à lâcher les écrous ou les clavettes de la quantité nécessaire pour le jeu qu'on veut laisser. Dans les machines qui ont un long service, il faut bien s'assurer du serrage dans différentes positions, car il arrive rarement qu'un tourillon reste rond. Pour les bielles d'accouplement, il faut laisser beau-

coup plus de jeu que dans les bielles motrices. Ce jeu doit exister en tout sens.

Pistons. La visite des pistons doit être faite par le mécanicien lui-même; il ne convient d'ouvrir les cylindres pour cette opération, que lorsqu'il y a des fuites de vapeur, ce qui s'entend facilement en marche, ou après un long service pour s'assurer si les cylindres ne sont pas rayés. En serrant les pistons, on ne doit donner aux segments qu'une très-légère pression contre la surface des cylindres. Un piston bien serré doit pouvoir être poussé à la main dans toute la longueur du cylindre, lorsque la tige est détachée de la crosse et libre dans son presse-étoupe. Les pistons en bronze doivent être moins serrés que ceux en fonte, car la dilatation du bronze étant plus forte que celle de la fonte fait augmenter le diamètre des segments et leur donne du serrage contre les parois du cylindre, lorsqu'on introduit la vapeur. Un piston trop serré empêche la marche de la machine et peut, surtout avec les segments en fonte, gripper et rayer le cylindre. L'opération du serrage du piston nécessite donc tous les soins du mécanicien.

Lorsqu'on vient de placer un piston, il est dur pendant au moins trois jours de marche; il ne fonctionne bien qu'après ce temps, et avant d'être resserré, il perd la vapeur pendant plusieurs jours. Il est donc fort important d'avoir des pistons qui marchent le plus longtemps possible, et c'est pour cela qu'il convient de donner la préférence à la fonte qui peut marcher au moins quatre fois aussi longtemps que le bronze. Mais, pour qu'elle soit vraiment avantageuse, il faut qu'elle soit d'excellente qualité, afin de ne pas user rapidement les cylindres; c'est pour cela que la fonte exige plus de soins de la part du mécanicien.

Il arrive assez souvent que des cylindres se rayent. On peut, lorsque les cannelures sont peu profondes, les ramener à un beau poli, en faisant disparaître les rayures qui se produisent en même temps sur les segments, puis en les remettant en place avec un peu plus de serrage qu'à l'ordinaire et en graissant souvent les cylindres en marche. Dans ce cas, il faut ouvrir les cylindres à la fin de chaque service pour voir si le mal diminue ou s'aggrave, et à chaque fois resserrer légèrement, s'il y a lieu.

Lorsque les segments commencent à s'user un peu fortement il faut, avant de les remettre en place, s'assurer, en leur donnant le serrage ordinaire, qu'ils portent partout. S'ils ne s'appliquent pas contre le cylindre dans tout leur pourtour, on les ouvre en les martelant à l'intérieur et ils peuvent ainsi achever de s'user. Mais cette opération demande du soin et de l'habileté. Dans ce cas, et pour les segments qui s'ouvrent au moyen de coin, il faut que ce coin ne porte pas contre le cylindre et en soit à une distance de 3 ou 4 millimètres, afin qu'il ne puisse pas venir le toucher et le rayer. Les segments de piston bien serrés sont remis dans leur position ; le piston est alors centré au moyen de la vis de support et ensuite fermé.

Tous les boulons ou vis d'un piston doivent être fortement serrés, et si quelque taraudage a du jeu, il faut changer la vis ou l'écrou, car la moindre pièce qui viendrait à se détacher en route pourrait occasionner la rupture du piston et du cylindre, et dans tous les cas, une avarie grave. C'est pour ce motif qu'il convient de faire les brides des cylindres très-fortes et les plateaux très-légers, afin qu'en pareil cas, ou lorsque le piston se détache, le plateau puisse se briser sans que le cylindre soit endommagé.

Excentriques. — Les colliers d'excentriques doivent toujours être serrés de manière que les deux moitiés joignent fortement. C'est donc en diminuant l'épaisseur placée dans le joint, ou en limant les deux parties en contact, qu'on leur donne du serrage. Mais, comme les poulies et les colliers *n'usent pas rond*, il faut procéder à cette opération par tâtonnement, en détachant la barre d'excentrique de sa suspension et en plaçant le collier dans diverses positions. Le jeu qui existe dans cette pièce ne produit du reste pas de choc ; il n'a pour résultat que de donner du retard au tiroir et de diminuer sa course.

Garnitures. — Les garnitures se font en chanvre enduit de suif. On fait une série de mèches grasses assez fortes pour bien remplir l'espace laissé entre la boite à étoupe : ou roule ces mèches autour de la tige et on les pousse dans la boite jusqu'à ce qu'elle soit remplie ; on serre alors avec le presse-étoupe qui comprime la

partie introduite, puis on recommence jusqu'à ce que la boîte soit suffisamment pleine d'étoupe bien comprimée. La seule précaution à prendre est de faire la mèche assez forte pour bien remplir l'espace vide à chaque tour et assez égale pour qu'il s'en trouve autant d'un côté que de l'autre, afin que la pression soit égale et que la tige ne soit pas décentrée.

Lorsque le presse-étoupe n'est pas exactement du diamètre de la tige, la garniture est plus difficile à faire, parce qu'il faut éviter que le chanvre ne se prenne entre deux : ce qui rend le mouvement dur et peut faire rayer une tige. Une garniture neuve doit être fortement serrée en commençant; elle se lâche dès que la chaleur se fait sentir, et il faut la resserrer souvent à mesure qu'elle diminue de volume.

Pour les pompes, il faut supprimer le suif et faire les garnitures à l'eau, toute matière grasse introduite dans une pompe ayant l'inconvénient de faire adhérer les clapets des soupapes sur leurs siéges et de les empêcher de fonctionner.

Le graissage des presse-étoupe, des tiges de tiroirs et de pistons est fort important; il rend le mouvement plus doux et conserve les garnitures et les tiges. Lorsqu'il n'y a pas de godet sur les presse-étoupe, il convient de mettre sur chaque tige un paquet de mèches qu'on arrose d'huile, et qui suffit pour ce graissage.

Mèches de graissage. — Elles doivent être renouvelées assez souvent; elles s'encrassent promptement et cessent de fonctionner. Leur pose, pour être bonne, demande quelque soin; ainsi que nous l'avons déjà dit, trop grosses et trop serrées dans le tube qui les contient, elles ne donnent pas assez; trop minces pour ce même tube, elles donnent trop.

Lorsqu'au dépôt un mécanicien ouvre les pompes, les cylindres, les boites à tiroirs, les boites à clapets, etc., il doit, pendant tout le temps qu'il ne travaille pas dans une de ces ouvertures, tenir les orifices bouchés avec des tampons de chiffon, afin que rien n'y puisse tomber; de plus, avant de les refermer, il doit les visiter à l'intérieur, afin de s'assurer que, par malveillance ou par négligence, on n'y a rien introduit. C'est là une précaution indispen-

sable, et on doit rendre responsable celui qui ferme ces orifices, des accidents qui arriveraient par suite de l'introduction de corps étrangers.

Enfin, une partie des machines que les mécaniciens négligent trop souvent, quoiqu'elle nécessite beaucoup de soins, ce sont les robinets. Il faut les nettoyer et les graisser de temps à autre, et roder fréquemment tous ceux qui perdent. Ceux du niveau d'eau, ainsi que les orifices d'introduction des tuyaux des pompes dans la chaudière, demandent aussi à être visités, débarrassés de temps en temps et d'une manière complète des incrustations qui souvent finissent par les obstruer.

Pièces de la distribution. — Les mécaniciens doivent s'assurer de temps à autre si les pièces de la distribution n'ont pas pris trop de jeu ; ils y remédient en rapportant des rondelles sur les boulons d'articulation, et en les remplaçant au besoin ; ils rapportent également des épaisseurs sous les coussinets du guide de la tige de tiroir, etc.

Entretien du tender. — Les mécaniciens, en général, ne s'occupent pas assez de leur tender, il est cependant important qu'ils y donnent le peu de soin que cet annexe de la machine exige. Le frein doit être souvent graissé dans ses articulations, et il faut s'assurer qu'il fonctionne bien ; les boîtes à graisse doivent être nettoyées de temps en temps, les coussinets visités et mis en état. Ces deux parties du tender sont à peu près les seules qui nécessitent des réparations et des soins d'entretien ; mais il est indispensable de les maintenir en bon état, tant pour la sécurité du service que pour la bonne marche de la machine.

§ 2. — Service des trains.

MISE EN TÊTE DU TRAIN. — Le mécanicien qui conduit un train est responsable de la marche de sa machine et de tous les accidents, autres que ceux de force majeure, qui peuvent avoir lieu en route ; il convient donc qu'il arrive au dépôt assez à temps avant le premier départ, pour pouvoir non-seulement visiter sa machine, mais

encore y faire ce qui pourrait être nécessaire, dans le cas où il y remarquerait quelque désordre, ou bien si elle était mal préparée.

En arrivant, le mécanicien doit d'abord voir si son feu est bien allumé, s'il est convenablement chargé, et si la chaudière contient assez d'eau. Puis, lorsqu'il est certain que sa machine sera dans de bonnes conditions de marche au moment du départ, il visite le tender, s'assure qu'il est plein d'eau, y fait charger le coke nécessaire pour la consommation pendant le trajet, il ouvre les robinets réchauffeurs pour chauffer l'eau du tender, etc. Une demi-heure avant le départ, il charge son feu, et met du coke jusqu'à 0^m 20 environ au-dessous de la porte.

A l'heure prescrite, il se rend en tête du train qu'il doit conduire. A ce moment, la chaudière doit être bien remplie d'eau, et la tension de la vapeur doit être au maximum. La machine attelée, le mécanicien procède au graissage; il doit le faire avec le plus grand soin et avec méthode, c'est-à-dire en suivant toujours le même ordre : c'est le moyen de ne jamais omettre de pièces. Les godets bien remplis et quelques gouttes seulement répandues sur les articulations, il met de l'huile dans les joints des coussinets de bielle, sur les côtés des coussinets et des excentriques, ainsi que sur les glissières et sur les tiges de tiroirs et de pistons. Le graissage ne doit se faire qu'au dernier moment, afin que l'huile ne tombe pas avant de pénétrer dans les articulations, ce qui n'a lieu que par le mouvement. Lorsqu'une machine est en service régulier, elle peut partir du dépôt pour aller se mettre en tête sans graissage préalable. Lorsqu'elle sort des ateliers, ou lorsqu'elle est restée longtemps sans marcher, il faut graisser légèrement avant de la mettre en mouvement, puis faire un graissage complet au moment du départ.

Les pistons se graissent avec de l'huile ou mieux avez du suif fondu de très-bonne qualité. Cette opération n'a lieu qu'au moment même du départ, après que la machine a déjà marché et que les cylindres sont chauds. On commence par ouvrir les robinets purgeurs, puis les cylindres vidés d'eau, on introduit le suif. Sans ces précautions, le suif reste à la surface de l'eau condensée dans le cylindre et n'en lubréfie pas les parois : il est projeté par la

cheminée dès les premiers coups de pistons. La quantité de suif à introduire dans chaque cylindre doit être d'environ un ou deux décilitres. Pendant que le machiniste graisse sa machine, le chauffeur achève de charger le feu. Le chargement du feu avant le départ varie selon les dimensions du foyer, la nature du coke et la facilité avec laquelle la machine produit de la vapeur. Si la machine vaporise peu et que le coke soit dur, il convient de charger le feu un peu avant de se mettre en tête du train, et de mettre aussi plus de coke à l'allumage. Si le contraire a lieu, il faut avoir peu de feu et charger beaucoup au moment du départ. Enfin, cette partie de la préparation de la machine varie selon que le chemin est en rampe, en niveau ou en pente sur les 4 ou 5 premiers kilomètres.

L'importance de cette préparation de la machine est très-grande, car si le coke est incandescent et déjà allumé depuis longtemps, il produit un excès de vapeur inutile au moment du départ; il brûle avec une extrême facilité et oblige à recharger le feu après un parcours de 5 à 6 kilomètres, c'est-à-dire au moment où il faut alimenter, alors que la chaudière commence à moins produire, et qu'il faudrait au contraire un feu vif et ardent; tandis que la même quantité de coke, chargée bien à temps, peut faire deux et trois fois cette distance. Un point important au départ, c'est d'avoir beaucoup d'eau dans la chaudière, une forte tension de vapeur et de l'eau chaude dans le tender.

Avant le départ, le mécanicien doit s'assurer que l'attelage du train au tender a été convenablement fait par les hommes d'équipe de la gare.

2° Conduite de la machine. — Lorsqu'on donne le signal du départ, le mécanicien doit mettre lentement sa machine en marche; cela doit avoir lieu ainsi, toutes les fois qu'il démarre un train, pour ne pas fatiguer les attelages. Pour démarrer lentement, il suffit d'ouvrir très-faiblement le régulateur, la vapeur se détend dans les conduits d'introduction et n'agit plus sur les pistons qu'à une faible pression.

La vitesse normale ne doit pas être atteinte de suite ; il convient

de laisser la graisse lubréfier toutes les parties de la machine, en marchant avec modération pendant quelque temps après le départ.

La conduite d'une machine est fort difficile. Un élève intelligent peut apprendre à en faire marcher une au bout de 3 ou 4 mois : jamais il ne sait la bien conduire, quelque habile qu'il soit, avant plusieurs années d'un travail assidu et d'une attention soutenue. Une machine entre les mains d'un homme habile coûte en général 2 à 300 fr. de moins par mois, que lorsqu'elle est confiée à un mécanicien ordinaire. On ne saurait donc attacher trop de soin à cette partie du service. Tout repose sur le rapport à établir et à maintenir entre la quantité d'eau que contient la chaudière, l'activité de la combustion et la dépense de vapeur, de telle sorte que le niveau de l'eau reste toujours au point le plus élevé dans la chaudière. Ainsi que nous l'avons déjà fait ressortir, c'est l'activité de la combustion qui active la production de vapeur, et c'est de la production ou, ce qui revient au même, de la dépense de vapeur que dépend le tirage, et, par suite, la combustion. Il faut toujours un feu d'une activité extrême, soutenue par un bon tirage ; si la combustion n'est pas assez vive pour subvenir à la dépense, la tension s'abaisse, le tirage devient par suite moins énergique, le feu déjà insuffisant languit et produit de moins en moins, jusqu'à ce que la machine s'arrête. Si dans un pareil moment on veut charger le feu, le coke froid introduit dans le foyer fait encore baisser la pression en empêchant le rayonnement vers le ciel du foyer et ses parois. Si, en outre, le mécanicien ouvre au même moment les pompes, il donne le coup de grâce à sa machine. Il devient nécessaire d'arrêter complétement, pour attendre que la machine se remette en vapeur, comme si on l'allumait au dépôt.

Le mécanicien doit donc s'attacher à avoir une production excédante de vapeur, soit au moment où il va charger le feu, soit au moment où il va alimenter, afin que le refroidissement produit par chacune de ces opérations ait seulement pour effet d'abattre cette production surabondante. Pour les trains qui s'arrêtent fréquemment aux stations, le mécanicien profite de ces arrêts pour charger le feu et alimenter, parce qu'il y a toujours

un intervalle de temps plus ou moins long pendant lequel la vapeur continue à se produire sans se dépenser, et le refroidissement occasionné par l'une de ces deux opérations l'empêche de se produire en trop grand excès. Le tuyau d'échappement est d'une grande ressource pour régler cette opération si délicate du chargement et de l'alimentation ; si le mécanicien, par suite de son défaut d'habitude ou par suite du profil du chemin ou du mauvais temps, n'a pas pu arriver naturellement à cet excès momentané de production de vapeur, il le détermine en serrant l'échappement quelques instants avant de charger le coke dans le foyer ou d'introduire l'eau dans la chaudière. Un des avantages des machines à grand foyer que l'on construit actuellement, est de donner au tirage naturel une plus grande part d'influence et d'atténuer les effets du refroidissement occasionné par le chargement du feu ou l'alimentation ; mais un mécanicien inexpérimenté peut tomber dans l'excès contraire et arriver à une exagération de vaporisation qu'il ne peut plus dominer, et qui occasionne une perte notable par les soupapes. La grande habileté consiste, dans tous les cas, à maintenir constamment la tension de la vapeur très-près de sa limite supérieure, sans faire *souffler* les soupapes.

Pour marcher à une vitesse régulière pendant tout le trajet, sur les rampes comme sur les pentes, seule marche d'ailleurs convenable, il faut employer d'autant plus de vapeur que la machine a un plus fort travail à effectuer, et pour cela se préparer à l'avance et n'aborder une rampe, par exemple, qu'avec un feu d'autant plus chargé et une machine d'autant mieux en état comme alimentation et comme tension, que cette rampe est plus longue et plus forte. Les deux dernières conditions ne suffisent pas, la principale est d'avoir un feu fortement chargé et bien allumé pour subvenir à l'accroissement de dépense que la machine va avoir à faire. Par suite, un mécanicien doit, avant tout, connaître parfaitement le profil du chemin qu'il doit parcourir, afin que sa machine soit toujours préparée longtemps à l'avance pour le travail qu'elle aura à faire en abordant chaque changement de pentes de la ligne. Il ne doit pas perdre de vue ce fait, qu'une machine bien préparée fait beaucoup

de vapeur en montant une rampe, parce que le tirage est très-énergique, et que, s'il y a beaucoup de feu, la production est considérable ; tandis qu'en descendant une pente, au contraire, la machine travaillant peu, le feu languit et il est très-difficile de maintenir la pression. Il faut donc, dans le cas d'une longue rampe à monter ou d'une longue pente à descendre, tenir le feu bien chargé et la chaudière bien pleine.

Si, dans chacun de ces deux cas, il n'a pas eu soin de bien charger le foyer, il arrive promptement à manquer de vapeur par les deux causes opposées, c'est-à-dire, dans le premier cas, parce que la dépense est trop forte pour la puissance de production ; dans le second, parce que la dépense est trop faible pour entretenir un tirage suffisant qui maintienne l'activité du feu.

D'après ce que nous venons de dire, il est facile de comprendre qu'il est de la plus haute importance de maintenir toujours, et pendant tout le trajet, le feu parfaitement chargé, le niveau de l'eau dans la chaudière aussi élevé que possible, et de ne pas attendre, pour mettre du coke ou alimenter, que la diminution de pression se fasse sentir, car alors on augmenterait infailliblement le mal qui commence à se produire. C'est, au contraire, lorsqu'il commence à y avoir excès de tension de la vapeur, qu'il convient d'alimenter ou de charger le feu. C'est cet excès de tension que le mécanicien habile doit obtenir aux points où il lui faut préparer sa machine pour monter sans difficulté une rampe encore éloignée. Le chargement du feu et l'alimentation n'ont alors pour résultat que d'empêcher la perte de vapeur qui tend à se produire, et la chaudière conserve toujours une forte tension.

La tension de vapeur dans une chaudière de machine locomotive en marche doit toujours être maintenue au maximum pour lequel cette chaudière est timbrée. C'est le seul moyen d'arriver à la puissance, à la vitesse et à une grande économie de combustible. On ne doit pas régler la marche par la pression, mais seulement par l'emploi de la vapeur avec plus ou moins de détente, selon le travail que la machine peut avoir à faire. En effet, par ce procédé, on emploie moins de vapeur, ce qui épuise moins la chaudière et

permet d'avoir moins de feu et de consommer moins de combustible, en maintenant plus facilement la pression. Comme il est nécessaire, en même temps, pour obtenir un effet utile raisonnable de la vapeur dépensée à haute pression et sans condensation, de la faire travailler à une tension assez élevée dans les cylindres, et comme la détente par la coulisse de Stephenson, que nous avons seule en vue, détermine l'étranglement des orifices d'introduction, et, par suite, affaiblit les tensions de la vapeur dans les cylindres, il faut avoir des chaudières frappées d'un timbre aussi élevé que possible; c'est là, du reste, un point sur lequel nous avons déjà insisté.

Il est très-mauvais de régler la marche de la machine en diminuant la tension dans la chaudière, comme le font encore quelques anciens mécaniciens ; il l'est presque autant de la régler par le régulateur, ce qui a pour résultat de n'envoyer dans les cylindres que de la vapeur sous une faible pression produisant peu d'effet utile. C'est en faisant varier la détente qu'on doit régler la marche, et, tant que cela suffit, le régulateur doit être tenu grand ouvert. On ne doit le fermer que lorsque la détente ne peut pas varier dans des limites assez étendues pour modérer suffisamment la vitesse.

Le mécanicien peut augmenter la production de vapeur en activant le tirage au moyen de l'échappement variable, lorsqu'elle est insuffisante; dans le cas contraire, il peut la régler au moyen du registre de rentrée d'air, placé sur la boite à fumée. En diminuant la section de l'orifice de sortie de vapeur, on augmente le tirage, et par conséquent la vivacité de la combustion; mais alors, la consommation de combustible augmente suivant une progression rapide, et qui n'est nullement en rapport avec l'augmentation de vapeur produite : de plus, en serrant l'échappement, on crée sur le piston une résistance très-sensible qui se traduit par une réduction importante d'effet utile. Il faut donc, par tous les moyens possibles, arriver à donner à la tuyère d'échappement son maximum de section. Ce n'est, en général, qu'à la fin d'un trajet qu'il convient de serrer fortement l'échappement.

Lorsqu'en route, l'échappement étant ouvert en grand, il se produit encore un excès de vapeur, on diminue le tirage en ouvrant la

prise d'air placée sur la boîte à fumée. Ce moyen doit toujours être préféré à l'introduction de l'air froid à travers le foyer et les tubes, obtenue par l'ouverture de la porte du foyer, moyen nuisible aux chaudières et au bon emploi de la chaleur. La prise d'air n'agissant pas aussi promptement et activement que l'ouverture de la porte, il faut en prévoir le besoin un peu à l'avance.

Nous avons dit que le feu devait toujours être bien chargé ; cependant, la hauteur du coke à maintenir dans le foyer durant le trajet varie selon les machines et selon la qualité du coke. Mais dans tous les cas, et surtout avec les cokes durs, il faut charger souvent et par petites quantités à la fois ; on éprouve ainsi moins de variations de pression, et le feu se conserve plus ardent.

Le coke doit être placé de manière à ne jamais encombrer les tubes et à former un plan très-incliné en montant de la plaque tubulaire vers la porte du foyer, et s'élevant surtout dans les angles à l'arrière du foyer. La combustion tend toujours à être plus rapide vers la porte que près des tubes ; il faut donc mettre une plus grande hauteur de combustible pour égaliser la combustion, dégager les tubes et obtenir une plus large surface de rayonnement. C'est contre la porte, et surtout dans les angles d'arrière du foyer que l'on doit charger le plus fortement. Le feu d'un foyer bien chargé doit être concave et présenter à peu près la forme d'un segment de sphère, dont le centre serait placé vers les dernières rangées supérieures de tubes. En chargeant beaucoup vers la porte et peu vers la plaque tubulaire, on arrive à maintenir dans le foyer une masse de combustible assez considérable, et si, d'une part, la hauteur de la masse est telle qu'il se produise de l'oxyde de carbone, de l'autre, il doit passer un excès d'air qui le brûle dans les tubes, de telle sorte qu'en dernier résultat, la combustion a lieu dans les conditions les plus favorables.

La forme du chargement de coke doit toujours être maintenue avec le plus grand soin, et chaque pelletée posée pour ainsi dire, au point où il est nécessaire. Il faut éviter d'introduire dans le foyer de trop gros morceaux de coke qui formeraient entre eux de grands espaces vides, et qui pourraient former voûte. Cela a

d'autant plus d'inconvénients que la couche de coke a moins d'épaisseur. Il y a, du reste, moins de désavantage à charger le feu avec du coke trop gros qu'avec du coke en très-petits morceaux qui empêchent le tirage, bouchent les tubes, et passent promptement à travers la grille ; il faut une dimension moyenne.

Pour régulariser la production de vapeur, beaucoup de mécaniciens emploient l'alimentation. Dans ce cas, il faut alimenter avant le chargement du feu, cesser au moment du chargement, puis recommencer alors que le coke est bien allumé et que la production de vapeur est intense. C'est surtout en arrivant à une station, alors que l'on ferme le régulateur et que, n'en dépensant plus, la tension augmente, qu'il convient de forcer l'alimentation, car la vapeur monte toujours assez pendant le stationnement. Et, comme c'est aux stations, pendant que la machine ne fonctionne pas, qu'il faut charger le feu, parce qu'alors on peut le faire avec plus de soin, et parce qu'en ouvrant la porte on n'introduit pas d'air froid, on se trouve alors, pendant que le coke s'allume, fortement approvisionné d'eau.

Ce mode d'alimentation, qui est le plus facile pour la conduite d'une machine, n'est cependant pas à beaucoup près le plus avantageux, car il en résulte que la tension dans la chaudière changeant à chaque instant par l'introduction de l'eau en abondance, puis ensuite par le chargement du feu, la marche n'est pas aussi régulière, et la consommation s'en ressent. Puis, d'un autre côté, en n'alimentant que par intervalles, il faut qu'à des instants donnés les pompes agissent en plein, ce qui cause de forts chocs des soupapes et une prompte dégradation de leur siége, fatigue les tuyaux et les joints. Le meilleur mode d'alimentation est celui que l'on obtient d'une manière continue, en n'ouvrant que très-peu la soupape du tender et la laissant généralement au point reconnu convenable après quelques essais. La conduite de la machine est alors plus difficile, mais elle est aussi plus avantageuse, et c'est celle-là que doit adopter tout bon mécanicien. Si l'on adopte l'alimentation continue, il convient de faire baisser la pression, au moyen de l'échappement variable ou de la prise d'air, avant d'arriver à une station,

afin que jamais la vapeur ne sorte par les soupapes. Les trains *omnibus* ou ceux qui arrêtent à toutes les stations sont très-difficiles à conduire économiquement avec une machine qui produit beaucoup de vapeur. Il faut un grand soin de la part du mécanicien pour ne pas en perdre. Avec une machine qui produit peu de vapeur, les trains directs sont, au contraire, plus difficiles à conduire que les trains omnibus.

L'alimentation doit toujours être telle que la chaudière contienne autant d'eau qu'elle en peut porter, sans qu'il y ait entrainement dans les cylindres, ou sans que la machine crache. Il y a pour cela plusieurs raisons que voici : 1° une machine produit d'autant plus de vapeur et marche d'autant mieux, qu'elle contient plus d'eau dans les limites que nous venons d'indiquer ; 2° les abaissements de tension sont d'autant moins sensibles lorsqu'on alimente ou lorsqu'on charge le feu ; 3° dans un moment de gêne ou de difficulté de marche, l'eau contenue dans la chaudière forme une réserve de puissance motrice dont on peut toujours avoir besoin ; 4° enfin, en cas d'accident qui force à un long arrêt ou à un arrêt brusque, soit lorsqu'un tube vient à crever ou une fuite à se déclarer, soit enfin si les pompes se dérangent, ce qui arrive assez souvent, on n'est pas exposé à brûler une chaudière, et cela arrive presque infailliblement aux mécaniciens qui ont la mauvaise habitude de marcher l'eau très-basse. Cette condition rend donc très-importante la recherche des moyens propres à prévenir l'entraînement de l'eau, sur laquelle nous avons déjà insisté.

Lorsque dans une machine locomotive on ouvre le régulateur pour la mettre en marche, la diminution de pression qui se produit augmente l'ébullition de l'eau qui se tuméfie et change très-sensiblement son niveau. Ce phénomène est très-visible dans les machines qui ont un faible réservoir de vapeur : cette différence de niveau va souvent jusqu'à 8 et 10 centimètres. Le machiniste doit donc, avant tout, se rendre compte de l'action produite par l'ouverture du régulateur, car, sans cela, le niveau indiquant encore beaucoup d'eau, il pourrait brûler le foyer ou les tubes au moment où il arrêterait.

Lorsqu'on ouvre le régulateur d'une machine, il y a toujours une tuméfaction de l'eau. Cette tuméfaction varie selon la capacité de la chaudière, ou plutôt selon la capacité du réservoir de vapeur. Elle est d'autant plus forte que cette capacité est moindre ; elle s'accroit lorsqu'on augmente l'ouverture du régulateur ou que l'on diminue la détente dans les cylindres.

C'est là un point important dont le mécanicien doit tout d'abord se rendre compte, afin de ne pas partir avec trop d'eau dans sa chaudière, et de conserver toujours assez d'eau pour qu'en fermant le régulateur, il en reste assez pour recouvrir le foyer lors de l'abaissement du niveau du liquide.

Il faut aussi, dans ce cas, que le mécanicien tienne compte de ce que, dans la marche, l'eau se porte à l'arrière, et de ce que, dès qu'on ralentit en faisant serrer les freins, l'eau par son inertie tend à se porter à l'avant de la machine et à découvrir le foyer. Cet abaissement momentané, qui disparait dès que l'arrêt est complet, est quelquefois de plusieurs centimètres.

Dans les machines dont le corps cylindrique est de très-petit diamètre, et dans lesquelles le réservoir de vapeur de cette partie est faible, d'autres causes de changement du niveau apparent de l'eau viennent compliquer celles que nous venons d'indiquer. Si le régulateur est à l'arrière de la machine, c'est-à-dire au-dessus du foyer, l'eau s'élève beaucoup plus dans le tube, lors de l'ouverture du régulateur. Cette surélévation apparente, qui cesse à la fermeture du régulateur, est quelquefois de 10 centimètres. Tant qu'on marche il n'y a pas de danger, mais en arrivant à une station, ou si un accident ou un signal forcent à arrêter brusquement, en laissant trop baisser le niveau de l'eau, on brûle infailliblement le foyer ou les tubes.

Dans des machines à chaudière de petit diamètre, dont la prise de vapeur est placée à l'avant, l'effet contraire a lieu, c'est-à-dire qu'au moment de l'ouverture du régulateur le niveau de l'eau dans le tube indicateur s'abaisse, et il remonte lorsqu'on ferme le régulateur.

Enfin, nous devons dire que, lorsque l'eau de la chaudière est

sale, après plusieurs jours de service consécutifs, ou lorsqu'on met dans la chaudière des produits chimiques pour détruire les incrustations, les changements de niveau que nous venons d'indiquer sont beaucoup plus sensibles.

Si pendant le trajet la machine vient à manquer de vapeur, soit parce que le feu ou l'alimentation n'ont pas été bien conduits, ou par toute autre cause, il ne faut pas chercher à se remettre peu à peu dans de bonnes conditions, ou à soutenir encore quelque temps la vitesse normale qui épuiserait bientôt complétement la machine. La première chose à faire est de serrer l'échappement, puis de n'employer que le moins de vapeur possible et charger le feu en plusieurs fois et successivement, en alimentant à temps convenable et à mesure que le coke introduit dans le foyer est allumé. L'échappement, dans ce cas, doit rester serré jusqu'à ce que le feu et le niveau de l'eau soient complétement rétablis. Il n'y aurait pas économie, et on perdrait beaucoup de temps, si on desserrait l'échappement avant que la machine ne fût entièrement remise dans les meilleures conditions, car, nous ne saurions trop le répéter, pour bien marcher il faut toujours se maintenir au-dessus de ce qui est nécessaire et se trouver presque embarrassé d'employer la vapeur produite.

Le mécanicien qui va arrêter à une station doit lancer son train à une bonne vitesse, fermer son régulateur et laisser le train marcher par la vitesse acquise pendant quelque temps. La vitesse lorsqu'elle est assez grande se conservant bien, il ne faut serrer les freins qu'en approchant de la station, lorsque la vitesse éprouve une diminution qui commence à devenir sensible. Pour bien arrêter à une station, il faut que le mécanicien se rende compte : 1° du poids de son train ; 2° du plus ou moins d'action des freins placés sur les voitures ; 3° de l'état des rails. Par la pluie, il faut arrêter de plus loin que lorsqu'il fait sec, car le train roule plus facilement et les freins ont moins d'action ; s'il y a du brouillard et que les rails ne soient qu'humides, ils sont encore plus glissants, il faut par conséquent arrêter plus tôt.

3° Arrivée et retour au dépôt. — En approchant du point d'arrivée, on laisse diminuer le feu de manière à n'avoir de vapeur que ce qui est strictement nécessaire pour les manœuvres de gare ou pour arrêter brusquement le train en cas d'encombrement de voie ou de signal d'arrêt. En parcourant les derniers kilomètres, et alors qu'il n'y a plus qu'une épaisseur de 30 à 40 centimètres de coke sur la grille, il convient de serrer l'échappement pour maintenir la pression. L'encombrement de la grille et des tubes rend ce tirage énergique utile et empêche qu'il ne produise une combustion trop rapide.

Le point capital en arrivant au dépôt, après avoir conduit un train, c'est d'avoir dans la chaudière un excès d'eau. Le mécanicien fait tourner alors sa machine, la prépare pour le retour en faisant charger son tender d'eau et de coke, s'il y a lieu ; il la place à l'endroit où elle doit stationner jusqu'au prochain départ, et ne la quitte qu'après l'avoir fait capuchonner et après en avoir fait la visite. Il intercepte alors le tirage naturel, met le levier de changement de marche au point mort et serre le frein du tender. La machine, ainsi préparée, peut rester en place pendant 24 heures sans consommation sensible.

Si, en arrivant à un point extrême, le mécanicien n'a pas pu obtenir assez d'eau dans la chaudière, ce qui arrive souvent quand il n'a pas maintenu assez de feu à la fin du trajet, il doit remplir la chaudière avant de rentrer au dépôt et conduire sa machine à la place où elle doit rester en stationnement.

Il procède ensuite au nettoyage des tubes, qui doit surtout être fait de suite, s'il y a quelques fuites dans le foyer, car, sans cela, la vapeur fait adhérer aux parois des tubes les cendres et scories, qu'il est ensuite très-difficile d'en détacher.

Quant au feu, si le coke ne fait pas beaucoup de mâchefer, on ne le pique pas à l'arrivée; on se contente de charger ce qui est nécessaire pour qu'il ne s'éteigne pas. Si la grille est encombrée, il convient de piquer légèrement le feu, et, dans un cas comme dans l'autre, on ne fait le piquage complet qu'au moment où on va charger le feu pour se préparer au départ. En piquant le feu trop

tôt, on augmenterait beaucoup la consommation en rendant le tirage trop facile et en faisant tomber beaucoup de menu coke qui est très-bon pour le temps de réserve et qui économise autant de coke neuf.

Nous avons dit, en parlant des dépôts, combien il était important de bien préparer une machine qui doit rester en stationnement, de manière à ne pas la forcer à se mettre en mouvement pour alimenter, ce qui nécessite un chargement spécial du feu en pure perte : car le coke ainsi allumé continue à brûler lorsque la machine est revenue à sa place, et produit de la vapeur qui épuise encore de nouveau la chaudière. Il est donc nécessaire que le mécanicien veille lui-même à la tenue de sa machine pendant qu'elle est en feu au dépôt, et qu'on ne charge le feu que sur son ordre et devant lui. Les fortes consommations de beaucoup de mécaniciens viennent en général de ce qu'ils ne s'occupent pas assez de leur machine en réserve, et de ce qu'elle n'est pas convenablement préparée au départ.

4° Conduite a deux machines. — Il est souvent nécessaire d'atteler deux machines à un même train, soit pour remorquer une charge exceptionnelle, soit pour surmonter les difficultés résultant du vent, de la neige ou du verglas, soit enfin pour renvoyer à son dépôt une machine qui a fait un train spécial ou la double conduite. Cette manœuvre n'a pas d'inconvénient lorsque les machines accouplées sont dans de bonnes conditions de stabilité.

Dans aucun cas, on ne doit faire entrer ainsi dans la composition d'un train une machine éteinte à moins qu'on n'ait démonté les bielles motrices et les tiges de tiroir; les pistons et les tiroirs gripperaient infailliblement après un faible parcours.

Lorsque le travail d'une seule machine suffit pour remorquer le train, soit parce qu'il y a peu de charge, soit parce que le profil du chemin n'exige qu'un effort modéré de traction, la machine placée en second ne doit travailler qu'autant que cela est nécessaire pour entretenir la circulation de la vapeur dans les cylindres et la combustion dans le foyer; le levier de changement de marche doit être placé au dernier cran de la détente et le régulateur faiblement

ouvert. La marche est ainsi plus régulière et jusqu'à un certain point plus sûre que si la première machine était gênée dans ces mouvements et souvent poussée par la seconde.

Dans tous les cas, c'est le mécanicien de la machine d'avant qui règle la marche ; il fait signe au mécanicien d'arrière lorsqu'il doit accélérer sa marche ; au moyen d'un léger coup de sifflet il lui fait modérer sa vitesse ou même fermer son régulateur.

Le mécanicien de la deuxième machine doit toujours avoir les yeux fixés sur celui qui le précède et se tenir prêt à obéir à tous les signaux.

Lorsqu'un train est remorqué par deux machines, il faut autant que possible que les mécaniciens s'entendent pour ne prendre de l'eau aux stations intermédiaires qu'alternativement.

§ 3. — Observations diverses.

1° SERVICE DE SECOURS. — Dans beaucoup de circonstances, notamment pour le service de secours, il est nécessaire d'expédier sur la ligne, en dehors des heures réglementaires et sans avis préalable, des machines isolées. La conduite de ces machines ne présente aucune particularité qui mérite d'être mentionnée ; seulement, il est nécessaire que le mécanicien redouble d'attention pour observer l'état de la voie et les signaux qui pourraient lui être faits ; la vitesse ne doit pas dépasser celle des convois en marche ; elle doit être réduite dans tous les points où la vue n'embrasse pas une grande étendue.

Les machines-pilote partent habituellement le tender en avant, lorsqu'elles vont à la rencontre des trains attendus ; dans ce cas surtout, il est nécessaire de modérer leur vitesse, car le tender a moins d'assiette sur la voie que la machine ; il peut avoir un mouvement de lacet assez considérable ; le mécanicien est moins en état d'apercevoir les signaux d'alarme, de telle sorte qu'il y a en définitive, dans ce cas, une cause d'insécurité qu'il convient d'atténuer par une réduction de vitesse.

Lorsque le mécanicien qui conduit la machine-pilote aperçoit le

train attendu en marche, il doit ralentir, afin d'arrêter et de se mettre en communication avec lui, si le mécanicien du train s'arrête de son côté; si au contraire le train marche régulièrement, la machine-pilote doit être conduite jusqu'aux plus prochaines aiguilles, où elle passe d'une voie sur l'autre pour rentrer à son dépôt. Le retour doit avoir lieu à une vitesse modérée, et le mécanicien-pilote doit prendre ses mesures pour ne pas se rapprocher trop du train qui le précède ou gêner celui qui le suit; il doit se conformer aux délais fixés pour la succession des trains qui suivent une même voie.

La machine de secours, indépendamment de ses outils et agrès ordinaires, doit porter une prolonge; lorsqu'elle remorque un train en détresse, elle le pousse d'abord à l'arrière, jusqu'à la rencontre des aiguilles de changement de voie; elle opère alors les manœuvres de mise en tête du train au moyen de la prolonge.

Indépendamment des agrès que porte la machine, il doit y avoir dans chaque dépôt un *wagon de secours* chargé d'agrès et prêt à partir à toute occasion, en cas de déraillement ou d'accident résultant des travaux de secours exceptionnels.

On place habituellement sur ces wagons, en ayant soin de les renfermer dans des coffres ou de les attacher avec des chaînes, les objets suivants :

Deux ou trois paires de roues et des boites à graisse de wagons, un poulain en bois pour mettre ces roues de rechange à terre, des rails et des traverses garnies de leurs coussinets, un assortiment de morceaux de bois de charpente de diverses dimensions, des crics et des vérins, des pinces en fer et des leviers en bois, une prolonge, des chaînes, un assortiment de clous, boulons, outils d'ajusteur et de charpentier.

Ces objets ne servent qu'à de rares intervalles, mais il est nécessaire de les tenir constamment approvisionnés sur le wagon de secours, pour éviter tout retard dans l'opération du sauvetage, lorsqu'un train encombre la voie par suite d'un déraillement ou de tout autre accident.

2° Essai des machines neuves ou réparées. — Lorsqu'une machine neuve vient d'être livrée, ou lorsqu'une machine a subi une grande réparation, il est nécessaire de lui faire subir un voyage d'essai, afin de reconnaître s'il n'y a pas quelque défaut d'ajustage ou de montage qui la rende impropre au service. Il convient de lui faire faire un parcours de 10 à 20 kilomètres, sous la surveillance du chef des ateliers ou de l'un des contre-maîtres. Les premiers kilomètres doivent être parcourus à petite vitesse, et, à la station la plus rapprochée du point de départ, on doit arrêter pour vérifier si rien n'a chauffé, si aucune pièce n'a manqué; si le résultat de cette vérification est favorable, et il doit l'être si le travail a été bien exécuté, on peut lancer la machine pour compléter l'essai pendant la dernière partie du parcours.

Ces essais sont du reste prescrits par les règlements administratifs.

3° Rapports des mécaniciens avec les divers services de l'exploitation. — Les mécaniciens sont maîtres sur leur machine et n'ont d'observations ou d'ordres à recevoir, pour ce qui concerne la conduite proprement dite, c'est-à-dire la conduite du feu et de l'alimentation, le graissage, la dépense de vapeur, la manœuvre de tous les organes de la machine, que de leurs chefs directs, tels que chefs de dépôt, chefs de la traction, etc.; mais, par contre, pour tout ce qui concerne les manœuvres qu'il est possible d'effectuer avec une machine, ils sont dans la dépendance absolue des agents du service du mouvement. Ce sont ceux-ci qui fixent les heures de départ, la vitesse des trains, la durée des stationnements, etc. Dans les stations, le mécanicien et le chauffeur sont sous les ordres du chef de station; ils exécutent toutes les manœuvres qui leur sont commandées pour avancer, reculer, garer des wagons ou en prendre pour les ajouter au train; dans le cas où ces manœuvres seraient dangereuses pour la sûreté des personnes et la conservation du matériel, le mécanicien peut soumettre ses observations à l'agent qui commande, sauf à exécuter, si l'ordre est maintenu, et à en référer à ses chefs directs. Si le

danger était imminent, le mécanicien peut, sans aucun doute, refuser d'exécuter les manœuvres, car on ne peut contraindre personne à faire une imprudence évidente; mais il ne doit pas perdre de vue quelle responsabilité considérable il encourrait s'il entravait le service pour un prétexte futile, et dans le seul but de contrarier les mesures prises par un agent auquel il est subordonné.

Dans le parcours entre deux stations, le mécanicien est sous les ordres du chef de train, qui est responsable des mesures et manœuvres exceptionnelles qui peuvent devenir nécessaires en cas d'accident. Le mécanicien arrête au premier signal que lui donne le chef de train; il ne repart que sur son ordre; c'est sur son ordre également qu'il avance ou recule pour garer un train sur une voie d'évitement; en cas d'accident arrivé à la machine qui l'empêche de continuer, ou qui ralentit considérablement la marche, il en donne immédiatement avis au chef de train, qui est chargé de prendre toutes les mesures de précaution prévues en pareil cas.

Il est de rigueur que le mécanicien ne démarre jamais d'une station sans avoir reçu le signal établi à cet effet, et qui consiste habituellement en un coup de cloche à main; en démarrant prématurément, le mécanicien qui ne peut pas se rendre exactement compte de ce qui se passe vers le milieu ou à la queue du train et dans la station, pourrait occasionner de graves accidents dont il serait incontestablement responsable.

Avant de démarrer, le mécanicien doit avertir, par un coup de sifflet bref, qu'il ouvre le régulateur; il doit de plus mettre un intervalle de quelques secondes entre l'ouverture du régulateur et le coup de sifflet, afin que les agents qui peuvent se trouver engagés sous la machine, sous les voitures ou entre leurs tampons, aient le temps de se retirer ou au moins de prévenir. Cet intervalle peut être très-court, de 4 à 5 secondes, mais il doit être observé; on devrait, à plus forte raison, détruire la mauvaise habitude que beaucoup de mécaniciens ont adoptée pour gagner du temps, et qui consiste à ouvrir le régulateur aussitôt que le signal du départ commence à retentir et à siffler ensuite.

Le mécanicien doit obéir aveuglément aux signaux de ralentissement ou d'arrêt qui lui sont faits par les agents placés sur la voie ; il ne peut pas savoir ou prévoir d'une manière exacte dans quel but ces signaux ont été faits, et il ne doit jamais les discuter ou chercher à les apprécier. Si une manœuvre exceptionnelle nécessite l'inobservation de certains signaux, le mécanicien ne doit pas en prendre la responsabilité, il doit exiger qu'un employé du mouvement, ayant qualité à cet effet, monte avec lui sur la machine, pour prendre l'initiative de cette mesure anormale et toujours accompagnée d'un certain danger.

Il ne résulte pas de la nécessité d'obéir d'une manière absolue aux signaux que le mécanicien ne doive apporter lui-même aucune attention à l'état de la voie, il doit constamment avoir les yeux fixés sur les rails, pour reconnaître autant que possible, et indépendamment des signaux d'alarme, si l'espace est libre devant lui, s'il n'y a pas d'obstacles; il doit porter également son attention sur la seconde voie que parcourent les trains qui viennent à sa rencontre, afin de les avertir en route, ou de les faire avertir à la station la plus voisine, s'il existe quelque obstacle à la circulation.

LIVRE VI.

ATELIERS DE RÉPARATION.

Nous avons indiqué, en parlant de la conduite des machines, les systèmes différents que l'on pouvait employer pour l'entretien courant des machines, auquel on pouvait faire participer plus ou moins complétement les mécaniciens-conducteurs ; quel que soit le système adopté, cet entretien se fait dans les dépôts et s'intercale dans le service des machines, soit pendant les jours de repos, soit pendant quelques jours de suspension momentanée de service. Mais lorsqu'une machine a éprouvé de graves avaries par suite d'un accident, ou lorsqu'elle est arrivée, par suite d'un service prolongé, à un degré d'usure qui ne permet plus de la faire marcher avec une sécurité et une économie suffisante, il faut la faire entrer en *réparation*. Pour cela, des ateliers spéciaux doivent être établis sur un ou plusieurs points de la ligne du chemin de fer, suivant son importance et sa configuration. Ces ateliers comprennent une division spéciale pour l'entretien des voitures ; mais celle-ci ne s'occupe spécialement que des travaux de charronnage, menuiserie, peinture et garnissage ; les gros travaux de forge et d'ajustage et la réparation des roues s'exécutent toujours dans l'atelier principal ; c'est de celui-ci que nous nous occuperons plus spécialement.

§ 1er. — Conditions générales d'établissement.

Lorsqu'on établit une ligne de chemin de fer d'une grande importance, il est nécessaire d'étudier de longue main la question des ateliers de réparation et d'arrêter le choix des emplacements. Les éléments à prendre en considération sont l'étendue de la ligne et de ses embranchements, la configuration, l'importance et la nature de son trafic, la distribution des relais de machines, la position des villes qui fournissent, par la nature de leur industrie, des ressources pour la main-d'œuvre des ouvriers spéciaux, leur position par rapport aux lieux de production des matières premières, la situation du siége de la direction de l'entreprise, la disposition du terrain aux abords des gares principales et les facilités qu'elle présente pour la construction d'établissements qui couvrent une grande superficie, etc. La question est nécessairement très-complexe et d'une solution difficile.

Pendant quelque temps on a pensé que, pour les chemins de fer qui venaient faire tête à Paris, il y avait une grande importance à y placer l'atelier principal, pour profiter des ressources indéfinies qu'on y rencontre pour la main-d'œuvre, et pour la commande à l'extérieur des pièces fabriquées; on est revenu de cette opinion, mais, comme toujours, on est passé d'un extrême à l'autre. Les motifs qui avaient dicté le premier choix subsistent toujours, mais avec moins d'importance qu'on ne l'avait supposé d'abord.

Sur quelques chemins de fer, on avait pensé qu'il était nécessaire de multiplier les ateliers de réparation ; depuis, on est arrivé à reconnaître qu'on pouvait, par suite des perfectionnements successifs qu'a reçus le service, grouper plus complétement les moyens de réparation. Nous ne chercherons pas à formuler une règle générale, car il n'est pas possible de le faire ; nous citerons seulement quelques exemples en les discutant.

Les ateliers des chemins de fer de Paris à Rouen, de Rouen au Havre et de Dieppe, exploités en commun, sont concentrés à Rouen ; cette position est indiquée par la coupure des lignes dont les

trains viennent s'arrêter à Rouen, ou se recomposer pour aller au Havre et à Dieppe ; ce point est d'ailleurs convenablement disposé pour l'établissement d'un relai de machines, par les ressources de toute nature que présente cette ville pour la main-d'œuvre, pour les commandes de pièces fabriquées et pour l'approvisionnement des matières premières arrivant par la Basse-Seine, par la nature même du trafic qui ne comporte pas un service de banlieue, ce service étant exploité par les chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles. Le terrain se prêtait, du reste, admirablement à l'établissement de vastes ateliers et de remises, au point d'embranchechement de la ligne du Havre sur celle de Paris à Rouen, sur un sol uni qui n'a exigé ni remblais ni déblais importants. Enfin, il entrait dans les vues de ces Compagnies de donner à l'entreprise leur service de traction et d'entretien du matériel, et il n'y avait aucun intérêt à ce que les établissements fussent rapprochés du siége de l'administration.

Les compagnies des chemins de fer d'Orléans et du Centre ont établi avec raison leurs ateliers principaux à Paris, où elles rencontraient, du reste, des terrains convenablement disposés, et où venaient converger les convois de la ligne d'Orléans et de la ligne de Corbeil et les wagons de l'ensemble des deux chemins dont le trafic intermédiaire est peu important. Deux ateliers secondaires ont été établis, l'un à Orléans, l'autre à Vierzon ; leur service a été concentré à Orléans, où se trouve une installation complète. La division d'intérêts qui existe entre les deux compagnies ne doit avoir qu'une faible importance dans la question du choix définitif de l'atelier secondaire unique que nécessite l'exploitation d'un système de lignes de cette étendue (372 kilomètres), car elles seront amenées à une fusion inévitable, dès que les bases de leur produit respectif seront établies par l'expérience. La configuration même des lignes indique Vierzon comme emplacement de ce second atelier, au point d'embranchement de la ligne de Châteauroux, longue de 65 kilomètres, qui pourra se prolonger jusqu'à Limoges, sans que l'établissement de nouveaux ateliers devienne nécessaire, à égale distance enfin, des deux gares d'Orléans et de Nevers.

Cet atelier secondaire n'aura, du reste, qu'une faible importance.

Les ateliers principaux du chemin de fer du Nord sont placés à Paris, où viennent converger les services de la Banlieue, de la ligne principale et de la ligne de Creil à Saint-Quentin; ce point avait, du reste, une importance exceptionnelle pour la réparation des roues de voitures et de wagons que le mouvement des trains y amène constamment. Des ateliers secondaires sont établis à Amiens et à Lille; le premier point était indiqué par l'importance de son mouvement et par les rapports avec l'embranchement de Douai sur la frontière de la Belgique qui vient y converger; le second point est la tête de trois directions sur la frontière de Belgique, sur Dunkerque et sur Calais.

Les chemins de fer d'Orléans à Bordeaux et de Tours à Nantes ont chacun leur atelier unique à Tours; ce point est convenablement situé pour la première ligne, qui a, au même point, le centre de son exploitation.

Pour le chemin de fer de Tours à Nantes, un atelier unique est suffisant.

Le chemin de fer de Paris à Strasbourg n'a encore qu'un atelier à Epernay.

Il serait difficile de poser des règles générales relativement à l'importance, comme superficie d'ateliers, de magasins et d'emplacements découverts qu'il est nécessaire de disposer pour assurer le service de l'entretien et de la réparation du matériel. Une compagnie, dans le but de restreindre le cercle des opérations qu'elle doit embrasser, peut adopter en principe le système des commandes de pièces fabriquées à l'extérieur; elle peut même livrer des machines à réparer ou à transformer à des constructeurs particuliers et réduire de beaucoup l'importance des travaux exécutés dans ses ateliers; elle peut, au contraire, se livrer à la construction des machines et des wagons, employer un plus grand nombre de bras, et avoir besoin d'établissements plus considérables que dans le premier cas. Nous nous contenterons encore ici de citer quelques exemples; les superficies indiquées sont celles des bâtiments, développées par étages lorsqu'il y a lieu.

CHEMIN DE FER DU NORD.

	La Chapelle.	Amiens.	Lille.
Atelier des machines et tenders :			
	m. q.	m. q.	m. q.
Machines fixes et chaudières..	178	240	50
Forge..................	1,962	390	252
Chaudronnerie............	492		
Atelier des roues...........	891	»	»
Ressorts..................	650	»	»
Fonderie de cuivre..........	168	»	»
Machines-outils et ajustage..	1,957	280	252
Montage des machines......	1,658	600	1,414
— des tenders........	440	1,055	»
Peinture des machines......	17	»	»
Outillage..................	24	»	»
Bureau spécial............	100	»	55
Magasins spéciaux.........	»	180	330
Atelier des voitures :			
Chantier des scieurs de long.	2,604	»	»
Scierie mécanique..........	690	»	»
Forge..................	80	420	80
Ajustage.................	517		
Montage..................	2,950	2,880	800
Ebénisterie...............	105	»	
Atelier des modèles........	55	»	
Charronnage..............	690	»	72
Menuiserie...............	517	»	
Sellerie..................	135	»	
Peinture et garnissage......	500	»	»
Bureau spécial............	»	»	»
Magasins spéciaux.........	100	»	»
Bureau central............	300	140	50
*Magasin général de l'exploit*on	4,596	»	»
Cours et emplacements affectés aux ateliers et magasins....	29,930	8,145	5,045
Totaux........	52,306	14,330	8,400

En récapitulant les renseignements compris dans le tableau qui précède, on voit que le chemin de fer du Nord, pour une exploitation de 584 kilomètres et son trafic considérable, affecte au service des ateliers les superficies suivantes, non compris les dépôts de machines qui doivent être considérés comme formant des établissements distincts, bien qu'on y fasse une partie de l'entretien :

	m. q.
Ateliers des machines et tenders...	12,970
Ateliers des voitures............	13,095
Bureaux.......................	645
Magasins......................	5,206
Cours.........................	43,120
Total..........	75,036

On a eu soin de ne comprendre dans ces nombres que les parties des remises de voitures qui peuvent être considérées comme annexes des ateliers, et qui sont habituellement affectées à des travaux de réparation ou de construction.

CHEMINS D'ORLÉANS ET DU CENTRE.

	Ivry.	Orléans.
Atelier des machines et tenders :	m. q.	m. q.
Forge.......................	1,484	234
Atelier des roues............... / — des ressorts.............	234	»
Chaudronnerie................	864	»
Machines-outils et ajustage.......	1,216	747
Montage des machines..........	3,132	»
— des tenders...........	695	»
Outillage.....................	288	»
Bureaux......................	288	76
Magasin spécial................	»	»
A reporter.....	8,201	1,057

Report	8,201	1,037
Atelier des voitures :		
Montage......................	»	»
Ebénisterie..................		
Modèles......................		
Charronnage..................	3,053	»
Menuiserie...................		
Sellerie.....................		
Peinture et garnissage..........	620	»
Bureau spécial................	»	»
Magasins spéciaux.............	»	»
Magasin général du matériel......	712	»
Cours et emplacements affectés au service des ateliers.............	6,664	1,943
Totaux........	19,250	3,000

RÉSUMÉ.

	m. q.
Ateliers des machines et tenders...	8,894
Ateliers des voitures............	3,673
Bureaux......................	364
Magasins.....................	712
Cours........................	8,607
Total.........	22,250

Ces ateliers suffisent pour l'entretien, ils en dépassent même les besoins, parce que quelques-unes de leurs parties avaient été disposées en vue de la construction; on peut donc prendre les chiffres que nous avons indiqués plus haut comme point de départ des appréciations pour préparer l'exploitation d'une grande ligne. Nous pourrions encore citer d'autres chiffres, mais comme ils se rapportent à des chemins inachevés, nous ne pensons pas qu'ils puissent présenter un intérêt véritable.

Il convient, lorsque l'on combine le plan d'un atelier, de se ménager de grandes facilités pour agrandir des bâtiments existants,

ou pour en changer la destination et en construire de nouveaux qui entrent dans une nouvelle distribution. Il est difficile d'apprécier dès l'origine l'importance que prendra l'exploitation d'un chemin de fer pris isolément, et celle que lui donneront les embranchements qui s'y rattacheront successivement ; il faut surtout, et dans ce même ordre d'idées, se ménager de grandes ressources en superficie de terrains.

Les bâtiments construits pour servir d'ateliers doivent être bien aérés et bien éclairés ; ils doivent consister en simples hangars qui se prêtent facilement à toutes les modifications de distribution qui peuvent devenir nécessaires : la charpente doit nécessairement, dans les ateliers d'ajustage et même dans les ateliers de montage des voitures, quoiqu'à un degré d'utilité moindre que dans le premier cas, se composer de fermes avec entraits en charpente d'une grande solidité ; ces entraits reçoivent les transmissions intermédiaires des machines-outils et servent de point d'appui pour accrocher des palans, fixer des grues et autres engins propres à faciliter la manœuvre des objets pesants. Il convient en général de prendre le jour sur le toit, il est plus favorable au travail des machines-outils et de l'ajustage ; on évite en outre les charges de l'impôt des portes et fenêtres.

Nous ne reviendrons pas ici sur ce que nous avons dit dans un livre précédent sur le choix des matières premières et sur les soins apportés à l'exécution des travaux ; ce qui est vrai pour la construction des machines neuves l'est également pour la réparation des machines en service.

L'organisation du service d'un grand atelier de chemin de fer exige nécessairement la répartition des attributions entre un certain nombre de personnes, chargées chacune d'une partie du travail ; pour que cette division ne présente pas d'inconvénients, il est nécessaire de la soumettre à une hiérarchie fortement organisée. Sous les ordres directs de l'ingénieur du matériel, une première division s'établit entre l'atelier des machines, comprenant l'entretien des roues et la fabrication des pièces neuves pour les wagons et l'atelier des voitures, dirigés chacun par un ingénieur ou par un chef d'atelier spécial,

suivant l'importance des travaux ; chacun des deux ateliers principaux se partage en sections, forge, ajustage, montage pour les machines, charronnage, montage, peinture, etc., pour les voitures, dirigées chacune par un contre-maître, et dont le cadre s'élargit plus ou moins suivant le nombre des ouvriers employés. Le magasin, lors même qu'il est destiné à approvisionner tous les services du chemin de fer, est un annexe du service des ateliers, et il doit relever directement de l'ingénieur du matériel, sous le contrôle duquel doivent s'effectuer tous les achats, pour ce qui concerne au moins la nature et la qualité des matières. Indépendamment des comptables qui tiennent les attachements des fournitures et des travaux dans chaque atelier, le service de la comptabilité générale des ateliers est l'annexe obligé du bureau de l'ingénieur du matériel. Celui-ci est, du reste, seul chargé de tout ce qui concerne les commandes de travaux à l'extérieur.

§ 2. — Nature des réparations.

Les petites réparations se font en général dans les dépôts, comme nous l'avons indiqué ; le cercle qu'elles embrassent peut varier dans des limites très-étendues, suivant le degré d'importance respective que l'on attribue aux travaux du dépôt et aux travaux de l'atelier. Elles comprennent d'abord la réparation des garnitures et des joints, le règlement des clavettes, le serrage des boulons, le serrage ou le desserrage des pistons, le mattage ou le remplacement des viroles qui perdent, le rodage des soupapes de sûreté, la visite des boites à graisse, le tracé des rainures sur les boites à graisse, le dressage de la fusée et du coussinet lorsqu'ils ont grippé, le règlement des ressorts de suspension et des balances. Elles doivent en outre, autant que possible, comprendre une série de réparations d'un ordre plus élevé ; ainsi, l'on doit pouvoir, dans l'intervalle du repos de la machine, prolongé au besoin de deux ou trois jours, remplacer au dépôt les tubes usés, réparer les cornières, mettre des pièces au foyer, réparer la cheminée et le tuyau d'é-

chappement, reprendre le jeu qui existe dans le mécanisme, soit en rapportant des épaisseurs ou en changeant les boulons d'articulation, remplacer des feuilles de ressorts cassées, rafraichir les roues sur le tour, changer les segments de piston et remplacer par des pièces de rechange les pièces usées ou brisées, réparer les tuyaux divers, roder les soupapes des pompes, etc. Ces derniers travaux, que l'on pourrait appeler *moyennes réparations*, peuvent se faire au dépôt, en donnant de temps en temps à la machine quelques jours de repos supplémentaires; elles se font aux ateliers lorsque la machine exige certains travaux longs et difficiles, qui nécessitent une mise hors de service prolongée, et qu'elle doit forcément entrer en *grande réparation*, ou lorsque leur nombre et l'importance devient telle, qu'il est impossible de les exécuter successivement et à des intervalles plus ou moins éloignés. On comprend du reste qu'il y a une très-grande élasticité dans la ligne de démarcation; la tendance actuelle que nous constatons encore ici, comme l'une des conditions d'économie les plus importantes, est de maintenir les machines le plus longtemps possible en service, par un entretien incessant et par l'exécution successive des réparations, sans attendre que leur somme soit telle que la rentrée en grande réparation soit nécessaire.

Les travaux exécutés dans l'atelier se réduisent alors à la fabrication des pièces de rechange et à la réparation de quelques pièces isolées qu'on y apporte du dépôt, à la réparation des roues, à la pose des bandages et au travail du tour, aux réparations générales qui nécessitent le démontage de toutes les pièces du mécanisme et des châssis, la rectification des axes de montage, la réparation ou le remplacement d'une partie des pièces du mécanisme, le remplacement des foyers et des tubes, la réparation de la chaudière ; aux réparations nécessitées par suite d'un accident qui met une machine complétement hors de service, aux modifications de système qui équivalent à une reconstruction partielle, etc.

Pour indiquer en détail la nature des réparations que l'on est dans le cas de faire le plus fréquemment aux différentes parties des ma-

chines, nous conserverons l'ordre que nous avons adopté pour la description de la machine.

1° Appareil de vaporisation. — Les altérations principales qu'éprouve le foyer proprement dit, sont : des boursouflures ou des fissures occasionnées généralement par des coups de feu. Lorsque les entretoises sont trop écartées, et qu'en même temps les parois du foyer s'amincissent et se recouvrent d'une incrustation épaisse, le métal se suréchauffe, perd sa ténacité et la pression exercée par la vapeur fait boursoufler les parois ; on redresse, autant que possible, avec la masse, les bosses ainsi formées et on les consolide par de nouvelles entretoises ou par des armatures additionnelles si elles se sont manifestées dans le ciel du foyer. Les fissures résultent d'altérations occasionnées par le défaut d'alimentation ; on les répare après avoir enlevé, au besoin, la partie altérée, en rapportant des pièces intérieures fixées par de nouvelles entretoises qui les rattachent à la paroi de la boîte à feu extérieure et par des vis, ou mieux par des boulons qui les rattachent par les bords à la paroi même sur laquelle on les applique. Le cas le plus difficile est celui où il se déclare des fissures entre les tubes ; on réussit souvent, surtout lorsque le foyer est encore neuf, à réparer une avarie de cette nature, en entaillant la plaque tubulaire sur la moitié de son épaisseur, et y rapportant une pièce qui remplit la partie évidée, et en la rattachant à la plaque par des vis, de manière à ne pas augmenter l'épaisseur primitive du métal. On peut ainsi, par des pièces judicieusement placées, doubler la durée d'un foyer et l'amener à faire 10 à 12 années de service, correspondant à un parcours de 200,000 kilomètres, lorsque les eaux d'alimentation sont du reste assez pures.

Les bouilleurs placés transversalement ou longitudinalement dans le foyer se détruisent rapidement à leur jonction avec les parois latérales ; les différences de dilatation et la surépaisseur produite par l'emploi d'une cornière déterminent surtout cette altération, qu'on éviterait au moins, en partie, en employant des cuivres emboutis qui s'appliqueraient directement sur les parois ; il faut avoir soin de

placer à la partie inférieure, où elle est moins exposée à des fuites, la ligne de rivets du bouilleur.

On réussit quelquefois à remplacer un ciel de foyer, sans démonter le foyer tout entier ; il faut pour cela que l'intérieur de la chaudière soit accessible à un ouvrier pour faire la rivure. Le remplacement des parois latérales exige presque toujours le démontage complet du foyer ; on peut encore remplacer sur place la plaque tubulaire, lorsque la profondeur de la grille au-dessous des tubes n'est pas trop grande, ou seulement la partie qui reçoit les tubes ; les armatures du ciel du foyer ne donnent lieu à aucun entretien, mais il faut avoir soin d'enlever de temps en temps les incrustations sur le ciel du foyer, pour éviter que la tête des boulons, placée à l'intérieur du foyer, soit trop rapidement détruite par l'action du feu. Quand l'armature comprend des boulons qui la relient avec l'enveloppe extérieure du foyer, il faut les visiter souvent pour éviter qu'ils soient coupés par suite des variations de dilatation et de contraction.

Les entretoises se détériorent par l'altération de la tête, qui est successivement détruite par l'action du feu et par le frottement des morceaux de coke ; la tête saute quelquefois lorsque le métal a été trop écroui par la rivure, et lorsqu'étant trop forte, elle a exigé l'application d'un trop grand nombre de coups de masse pour être refoulée et parée. Lorsqu'une entretoise est brisée, on perce un trou à l'endroit même où elle se trouve, et on fait, sur un diamètre un peu plus grand, un nouveau taraudage sur lequel on ajuste une nouvelle et plus grosse entretoise. Pour reconnaitre si une entretoise est brisée, on la sonde à petits coups de marteau et le son qu'elle rend permet de juger son état. Les entretoises en fer s'altèrent rapidement par oxydation et d'une manière très-inégale ; il faut les remplacer lorsqu'il existe quelque doute sur leur solidité ; il faut également les remplacer lorsqu'elles sont relâchées, car il est impossible de les matter à froid sans ébranler tous les assemblages du foyer. Les entretoises en forme de boulon peuvent être remplacées avec plus de facilité que les entretoises rivées, car elles

peuvent être démontées; cette disposition est la plus convenable pour les entretoises en fer.

Il se déclare souvent des fuites à la jonction de l'enveloppe et du foyer, lorsque les eaux sont incrustantes; on y remédie tant bien que mal par le mattage; mais il convient, lorsque cette action est grave, de relever la grille pour soustraire les joints qui perdent sous l'action trop directe du feu. Les cadres en bronze, en forme de double cornière, se fendent fréquemment dans les angles; on bouche les fentes au moyen de vis en cuivre ou au moyen de pièces ajustées. La même réparation se fait au cadre de la porte du foyer, dans le cas où il viendrait à se fendre.

Les barreaux de grille s'altèrent et fléchissent lorsqu'ils sont empâtés et corrodés par le mâchefer et par l'oxydation; on les redresse tant qu'ils conservent une épaisseur suffisante et on les met ensuite au rebut en les remplaçant par des neufs.

L'enveloppe du foyer ne subit d'altération que quand la tôle est de mauvaise qualité ou trop faible; mais en général sa durée est presque indéfinie. La partie qui fatigue le plus est celle où sont fixées les attaches des supports, surtout quand les bâtis ne sont pas disposés pour permettre la dilatation; il arrive quelquefois que la tôle se déchire, il faut alors la remplacer, ou, si le mode de construction le permet, rapporter une plaque de support assez large pour couvrir la fissure.

L'altération du corps cylindrique résulte seulement de l'oxydation à l'extérieur, lorsqu'il y a des fuites qui entretiennent une humidité permanente sous l'enveloppe en feutre et en bois; elle peut encore s'altérer lorsque les eaux d'alimentation sont chargées de sulfate de fer ou d'alumine qui attaquent le métal, comme le ferait un acide libre, ou lorsqu'on fait un abus des matières désincrustantes à réaction acide; dans ce dernier cas, l'enveloppe du foyer subit la même altération, et l'emploi des entretoises en fer devient tout à fait dangereux. Nous avons omis, en parlant des eaux d'alimentation, de signaler l'influence destructive des eaux vitrioliques ou ferrugineuses que l'on peut rencontrer dans les puits creusés dans les terrains ardoisiers, tourbeux ou même crayeux, dans

beaucoup de puits artésiens, dans les ruisseaux où se déversent les eaux d'épuisement des mines; nous renvoyons nos lecteurs à un travail publié par l'un de nous, dans les *Annales des Mines* (tome XX, 3e série).

La cornière qui relie le corps cylindrique avec la boîte à feu d'un côté, et avec la boite à fumée de l'autre côté, est très-fatiguée par la pression qu'elle supporte et par les vibrations que tout le système éprouve, soit par suite des inégalités de la voie, soit par suite des mouvements d'oscillation intérieurs auxquels il est soumis lorsque la machine n'est pas bien équilibrée; elle est également fatiguée par la dilatation des tubes. Elle se fend, soit dans la ligne des rivets, soit dans l'angle même; lorsque la rupture n'est pas très-étendue, on peut la réparer par des pièces en cuivre parfaitement ajustées à l'intérieur, et fixées par deux lignes de rivets, l'une en remplacement des anciens rivets, l'autre au delà sur le corps cylindrique. On peut encore couper la portion de cornière altérée et la remplacer en fixant la pièce, au moyen de vis ou de rivets en fer, ou bien en cuivre si on craint d'ébranler le reste de l'assemblage par le travail de la rivure en fer; cette opération exige, dans tous les cas, un très-grand soin. Quand on remplace la cornière en entier, il convient de la fixer sur le corps cylindrique par deux lignes de rivets.

Les armatures et tirants intérieurs exigent peu d'entretien et de réparations; seulement, il convient de les remplacer, lorsqu'on est conduit à les retoucher, par des fers d'angle appliqués sur les parois planes qui leur donnent la rigidité qui leur manque. Par là on dégage, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, l'intérieur de la chaudière des ferrures qui la rendent souvent inaccessible et qui peuvent faciliter l'entraînement de l'eau par la vapeur.

La plaque tubulaire de la boite à fumée est exposée à une grande fatigue par suite de la pression exercée par la vapeur sur la partie supérieure non garnie de tubes, et par suite de la différence de dilatation qui existe entre les tubes d'une part et le corps cylindrique et les armatures de l'autre. On y rapporte des pièces lorsque cela

est nécessaire, et on la consolide par de nouveaux tirants, ou mieux par des fers d'angle intérieurs.

Les tubes de fumée sont exposés à des dégradations de natures diverses : rupture transversale produite par l'écrouissage du métal dans l'étirage au banc, et déterminée par les alternatives de dilatation et de contraction ; rupture longitudinale par défaut de soudure et amincissement par suite d'usure. L'amincissement des tubes réduit souvent leur poids des deux tiers du poids primitif. Pour éviter des ruptures par aplatissement, en service, il convient d'essayer fréquemment les chaudières au moyen de la presse hydraulique, lorsqu'on juge que ces pièces arrivent à leur limite de durée ; on écrase ainsi les tubes trop faibles et on les remplace. Lorsqu'on craint de faire un trop fréquent usage de la presse, on enlève quelques tubes çà et là pour examiner leur état. Lorsqu'on pose des tubes dans une plaque tubulaire en cuivre, neuve, il convient d'employer des viroles d'une conicité très-faible, après avoir mandriné les tubes, pour les appliquer exactement contre les parois du trou ; quand on remplace ces viroles, on leur donne plus de conicité et on augmente leur diamètre ; il faut éviter, avec le plus grand soin, de fatiguer la plaque tubulaire du foyer par l'emploi du mandrin et par la pose des viroles, car les trous s'élargissent de plus en plus et deviennent plus grands que ceux de la boite à feu, ce qui rend la pose difficile et défectueuse ; on a quelquefois rapporté des bagues vissées dans des trous agrandis outre mesure, mais cette réparation est fort délicate, et il vaut mieux en prévenir la nécessité par des soins convenables apportés à la pose et au remplacement des tubes. Les tubes s'usent principalement par l'extrémité du foyer ; on coupe les parties réduites à une trop faible épaisseur ou aplaties, et on soude des bouts en cuivre rouge ou en laiton. Avant de replacer les vieux tubes réparés, on les gratte extérieurement pour enlever les incrustations, et on achève de les nettoyer avec de l'acide hydrochlorique étendu d'eau qui les décape complétement.

Le remplacement des viroles, lorsqu'on change les tubes ou lorsqu'un joint doit être refait, exige les plus grands soins ; elles

doivent etre polies à l'extérieur pour que l'enfoncement soit plus facile et aussi régulier que possible; il faut, pour ce travail, des ouvriers spéciaux ayant une grande habitude.

La partie supérieure de la boîte à fumée est celle qui s'altère le plus rapidement, par l'action de la chaleur et la fatigue que lui impriment les oscillations de la cheminée. Lorsque les supports qui la rattachent au châssis sont rivés sur les parois latérales, et que les supports de la chaudière ne sont pas à dilatation, ces parois latérales finissent par se fissurer; on remet de nouveaux supports attachés sur une plus grande surface, ou bien on remplace par des pièces les parties altérées. Le fond de la boite à fumée se détruit rapidement par oxydation, par suite du contact des cendres, généralement humides, qu'on a souvent la négligence d'y laisser accumuler, au lieu de les enlever à chaque voyage.

La cheminée s'use assez rapidement par oxydation à l'intérieur. On la remplace par tronçons ou en totalité. Il en est de même du cendrier; celui-ci se déforme lorsqu'on jette le feu, et il devient souvent nécessaire de le redresser ou même, après un long service, d'y mettre des pièces.

Les accessoires de la chaudière n'exigent pas un entretien bien dispendieux. Les soupapes ont quelquefois besoin d'être rodées, les balances perdent de leur élasticité et se faussent avec le temps; il faut, lorsqu'on remplace les ressorts de celles-ci, employer des fils d'acier d'une qualité tout à fait supérieure.

Les manomètres exigent un entretien continuel, et, jusqu'ici, c'est seulement à cette condition qu'on a pu tirer parti de ces utiles instruments. Sur un chemin de fer d'une certaine étendue il doit y avoir un ou plusieurs ouvriers spécialement occupés, pendant toute l'année, à faire cette réparation. Les avantages que l'on retire des indications du manomètre pour la conduite de la machine, indépendamment des prescriptions de police et de la sécurité, sont assez grands pour que l'on ne recule pas devant ces frais d'entretien.

Les robinets de toute nature doivent être fréquemment visités et rodés.

Les réparations les plus fréquentes de la prise de vapeur sont celles du régulateur dont le tiroir grippe assez souvent, celle des pièces qui le commandent qui prennent du jeu par suite de la torsion ou des mouvements durs fréquemment répétés, celle des tuyaux de conduite de vapeur, dont les joints viennent quelquefois à perdre, ou qui s'aplatissent lorsqu'ils sont en cuivre rouge d'une trop faible épaisseur. Le tiroir du régulateur grippe avec d'autant plus de facilité que la vapeur, en entraînant de l'eau, entraîne aussi des matières boueuses qui viennent altérer les surfaces de frottement. Le ressort qui applique le tiroir sur son siége peut se relâcher ou se briser, et le tiroir se soulevant lorsqu'il y a refoulement d'air par l'effet de la marche à contre-vapeur, peut rester accroché et ne pas retomber exactement en place. On doit, dans tous les cas, mettre en état, sans retard, tout régulateur qui fuit, car, indépendamment de la perte de la vapeur qui va se condenser dans les cylindres, rien n'est plus dangereux qu'une machine dont le régulateur perd notablement, qui peut se mettre seule en marche lorsqu'on la tient en stationnement, et s'engager sans conducteur sur les voies de circulation. Les réparations de la prise de vapeur doivent toutes pouvoir se faire par le trou d'homme.

Le tuyau d'échappement doit être nettoyé très-souvent, pour que le jeu des valves reste libre ; la réparation la plus fréquente est celle des axes que portent les valves en guise de charnière, et qui prennent promptement du jeu lorsqu'on n'a pas eu besoin de donner des dimensions suffisantes à la partie carrée. Lorsque le mécanisme qui commande les valves est en dedans de la boîte à fumée, les articulations, les engrenages s'incrustent de cendres de toute nature, et de fréquentes réparations deviennent nécessaires; on doit transporter, dès qu'il y a une réparation à faire, tout ce mouvement à l'extérieur.

Les joints forment la partie la plus sensible dans les pompes alimentaires ; ils doivent être exécutés avec le plus grand soin et réduits au plus petit nombre possible; les pièces mises en contact doivent être parfaitement dressées et ajustées, et l'épaisseur du mastic intercalé aussi faible que possible. Le presse-étoupes du

plongeur exige aussi des réparations assez fréquentes; les tresses de chanvre doivent être placées avec toute la régularité possible, pour que le serrage soit égal dans toutes les parties; la fréquence et l'intensité des chocs rend les plus grandes précautions nécessaires pour l'entretien de ces organes. On doit visiter souvent les soupapes et roder les boulets ou les clapets sur leurs siéges, car le dérangement de ces pièces est une des causes les plus fréquentes d'arrêt des machines en service; la boîte du clapet de refoulement supérieur doit être nettoyée de temps en temps des incrustations qui finissent toujours par y pénétrer, et qui annulent l'effet du clapet. Lorsqu'on place un robinet de sûreté près de la chaudière, au point d'introduction de l'eau, on doit le visiter fréquemment et s'assurer qu'il peut fonctionner en cas d'accident. Le plongeur s'use par le frottement; cette usure peut être inégale lorsque la pompe est commandée directement par la crosse du piston, si les glissières laissent trop de jeu à celle-ci, ou si le montage du support de la pompe s'est dérangé; il devient nécessaire de rectifier le montage et de remettre le plongeur sur le tour ou de le remplacer. L'inégalité d'usure peut être également une cause de réparation pour les plongeurs mis en mouvement par les excentriques. Il arrive souvent que le petit tuyau qui amène l'eau jusqu'au robinet d'épreuve ou de purge, lorsqu'il n'est pas fixé sur le corps de pompe lui-même, se brise dans les coudes et surtout aux soudures; il faut attacher le plus grand soin à le réparer, car l'eau se perd en abondance et jaillit de tous côtés; on ne doit employer que des tuyaux en cuivre de première qualité. Les accidents qu'éprouvent les tuyaux de refoulement et d'aspiration sont dus généralement au défaut de qualité du cuivre et de leurs soudures, qui ne résistent pas aux chocs produits par le jeu des pompes et aux vibrations déterminées par le roulement de la machine; on peut réparer les soudures mal faites, mais il faut changer les tuyaux de mauvaise qualité.

2° Appareil moteur. — Les cylindres sont généralement brisés lorsque la machine vient se heurter contre un obstacle dans une

rencontre, ou par suite de déraillement, surtout lorsqu'ils sont placés extérieurement et ne sont protégés, au delà des longerons, que par les saillies de la traverse ; ils sont encore exposés à des ruptures dans leurs parties essentielles, lorsque le piston se démonte ou se brise à l'extérieur, ou même lorsqu'un mécanicien peu soigneux y laisse accumuler trop d'eau, etc. ; quelquefois le couvercle seul se brise et a seul besoin d'être remplacé ; mais, dans tous les autres cas, il faut mettre de nouveaux cylindres, ce qui entraine une dépense assez considérable ; cependant lorsqu'un cylindre est simplement fendu sur une petite longueur, on peut y rapporter une pièce en bronze. Les cylindres s'ovalisent à la longue, surtout lorsque la disposition du piston n'est pas très-bonne ou lorsque la tige se fausse par suite d'un défaut de montage ; ils se rayent lorsque le piston est trop serré ou garni de segments mal ajustés, ou même lorsque le graissage est insuffisant. Enfin, ils finissent par avoir un diamètre plus grand au milieu qu'aux extrémités ; il devient dès lors nécessaire de les aléser, opération que l'on effectue généralement sur place et sans les démonter.

Les cylindres peuvent encore se briser lorsqu'on a négligé, dans le montage, de ménager un espace libre suffisant à chaque extrémité de la course du piston, et que les limites de cette course viennent à varier par suite de l'usure des coussinets qui détermine un allongement ou un raccourcissement de la bielle, ou lorsque les coussinets de celle-ci se desserrent pendant la marche. Ils s'altèrent également par l'oxydation pendant le séjour aux ateliers, ou dans les remises, lorsqu'on n'a pas pris soin de les graisser avec du suif.

Les couvercles se brisent quelquefois sans que les cylindres soient détériorés ; on doit se féliciter lorsque l'accident se réduit à cette rupture, et on doit par cela même éviter de donner aux couvercles trop d'épaisseur, pour en rendre la rupture plus facile, et multiplier les chances de conservation du cylindre. Il arrive souvent que le joint du cylindre vient à manquer ; il en est de même pour celui du couvercle de la boite à tiroir ; on doit les refaire avec beaucoup de soin, en leur donnant le temps de sécher lorsqu'ils sont faits au minium ou au blanc de céruse

La table du tiroir s'use souvent d'une manière inégale et se trouve rayée ou cannelée au bout d'un certain temps de service, soit parce que le graissage a été insuffisant, soit parce que la fonte du cylindre ou le métal du tiroir n'est pas homogène et n'a pas une égale dureté; on rend souvent à la table des tiroirs son poli en remplaçant un tiroir en fonte tendre ou en bronze par un tiroir en fonte dure; mais souvent aussi il devient nécessaire de la redresser. On a quelquefois été obligé de rapporter une plaque de métal sur toute l'étendue de la table du tiroir pour prolonger la durée du cylindre compromis par des accidents de cette nature et par les réparations successives qui en avaient été la conséquence.

Lorsque les cylindres sont extérieurs au châssis, ils prennent généralement du jeu sur leurs attaches; il est nécessaire de combattre pied à pied cette tendance et d'arrêter ses progrès; il faut, pour cela, relier les cylindres entre eux par de fortes entretoises et tâcher de les rattacher à la boîte à fumée; il faut éviter surtout avec le plus grand soin de laisser prendre du jeu aux boulons d'attache.

Les pistons s'altèrent par l'amincissement des plateaux aux points où portent les segments, par le jeu qui se produit dans les assemblages; les pas de vis se mattent et les filets s'arrachent, lorsqu'on n'a pas le soin de faire les vis ou les boulons en acier; les plateaux se brisent par suite de ces avaries, ou par suite de la pression de la vapeur qui excède leur résistance, ou par les causes accidentelles qui déterminent la rupture des cylindres. Les segments et les ressorts se brisent lorsqu'ils sont trop tendus, ou bien ils cessent de fonctionner parce qu'ils perdent leur élasticité, ou parce que des matières terreuses entraînées par la vapeur avec l'eau liquide viennent les empâter, et il se déclare des fuites qui deviennent nuisibles à la marche de la machine. Des accidents de même nature sont occasionnés par l'inégalité d'usure des cylindres, soit dans le sens transversal, soit dans le sens longitudinal. Il est donc nécessaire d'apporter à

leur entretien des soins minutieux et de vérifier fréquemment leur état.

Les tiges de piston se faussent ou se rayent, lorsque le montage est défectueux ou lorsque le presse-étoupes est mal disposé ou trop serré ; il en résulte quelquefois des ruptures de la tige qui entraînent celles du cylindre ou tout au moins de son couvercle. La crosse ou coquille du piston s'use par le frottement sur les glissières, surtout lorsque le ballast donne beaucoup de poussière, ou lorsque le graissage est insuffisant; on compense l'usure par le approchement des glissières ou en changeant les patins de la coquille qui sont généralement rapportés ; un défaut de montage accélère cette usure et il faut le faire disparaître le plus tôt possible. Lorsque la pompe est commandée par un bouton fixé sur la coquille, la résistance du plongeur tend à le fausser et peut déterminer une usure inégale des parties de frottement ; ce bouton peut lui-même s'ébranler lorsqu'il n'est pas venu de forge sur la coquille. La clavette qui fixe la tige du piston sur la coquille peut prendre du jeu et s'ébranler. Ces diverses avaries doivent être surveillées avec soin et réparées sans retard, car leur effet devient de plus en plus nuisible.

Les glissières s'usent sous l'influence des mêmes causes que les coquilles ; l'usure devient surtout rapide lorsqu'elles grippent et chauffent ; elles peuvent se fausser par suite des chocs que la machine éprouve, en cas de rencontre ou de déraillement, ou par suite des tiraillements auxquels toutes les parties de la machine sont incessamment soumises. On les redresse et on compense l'usure en amincissant les cales placées à leurs extrémités, en remplaçant par des glissières en acier les glissières en fer, s'il en a été placé dans la construction première. Il faut, du reste, s'appliquer à proportionner la dureté des parties de la coquille à celle des parties frottantes des glissières, afin d'assurer à celles-ci la plus longue durée possible et d'éviter le grippement. Les glissières ne se conservent, du reste, qu'à la condition d'un graissage soutenu et convenablement fait.

Les bielles se brisent ou se faussent, par suite des efforts aux-

quels elles sont soumises, surtout par les efforts de torsion qui résultent du déplacement des essieux moteurs dans leurs plaques de garde et de l'irrégularité ou de l'altération du montage ; les bielles d'accouplement sont, en outre, fatiguées par le passage des roues dans les courbes. Les coussinets s'usent d'une manière normale par le frottement, ou accidentellement lorsqu'ils grippent sur les boutons de manivelle, par excès de serrage ou par suite de l'introduction de grains de sable ou autres corps durs. On doit redresser avec soin les bielles faussées, les ramener à leur longueur normale et faire disparaître les défauts de montage ; on resserre les coussinets au moyen des clavettes, après les avoir ajustés sur le bouton de manivelle, lorsqu'ils ont perdu leur forme ; on compense une usure plus grande par des cales rapportées sur leur face plane et enfin on les remplace. Les coussinets doivent venir s'appuyer l'un sur l'autre, directement ou par l'intermédiaire de cales, pour que le mécanicien ne leur donne pas trop de serrage. Lorsque les petites têtes de bielles motrices sont fixées sur la coquille au moyen d'un simple boulon, sans coussinets, on compense le jeu qu'elles peuvent prendre en rapportant dans l'œil où s'engage ce boulon une bague en bronze ou en acier.

Dans les machines à cylindres extérieurs, le bouton de manivelle peut s'ébranler dans le moyeu ; lorsqu'on ne peut pas le fixer, soit en le chassant plus fortement et en mattant l'extrémité placée à l'intérieur de la roue, soit par l'application d'une clavette, il faut le remplacer par un nouveau bouton ajusté avec plus de soin ; il en est de même pour les boutons des manivelles d'accouplement. Les essieux coudés, dans les machines à cylindres intérieurs, se rompent dans les coudes sous l'action des forces alternatives qui les sollicitent, par la réaction des chocs ou des efforts appliqués à la circonférence des roues ; on peut prolonger la durée d'un essieu coudé en consolidant les bras de la manivelle par des frettes en fer, il faut prévenir à temps la rupture en le remplaçant. Lorsque les boutons de manivelle chauffent et grippent, on rétablit leur surface à la lime et par le polissage ; quelquefois on a obtenu de bons résultats en étamant les parties grippées.

Le mécanisme de la distribution est une des parties de la machine qui exige le plus de soin et qui donne lieu aux réparations les plus fréquentes. Les articulations se mattent, les tourillons, coussinets, et en général toutes les parties frottantes s'usent et prennent du jeu, les arbres de distribution se tordent et se déforment, les barres et leviers se faussent, etc. Il faut, dans l'intérêt de la conservation de ces pièces, et pour éviter des perturbations dans la distribution, empêcher par un entretien assidu le progrès de ces altérations qui entraîneraient promptement la réparation générale du mouvement. Les poulies d'excentriques se décalent par suite du mattage de la poulie elle-même, de la clef ou de la rainure tracée sur l'essieu. Les colliers d'excentriques s'usent par le frottement, surtout lorsqu'ils grippent par excès de serrage ou défaut de graissage ; il faut les resserrer, à mesure que le jeu se manifeste ; les aléser lorsqu'ils se sont ovalisés, les remplacer enfin lorsqu'ils se brisent ou deviennent trop faibles. En resserrant les colliers d'excentriques on diminue la longueur de la barre et on altère la distribution ; on y remédie, lorsque le système de construction le permet, en rapportant des cales au point d'attache de la barre sur le collier. Les déplacements de l'essieu moteur sous la machine tendent à user les bords de la gorge par laquelle le collier embrasse la poulie d'excentrique; cette usure peut hâter l'instant auquel le remplacement des colliers devient nécessaire. Les barres d'excentriques à fourchette s'usent au contact du bouton du levier de distribution; on les répare en rapportant un coussinet en acier; les branches de la fourchette peuvent se casser, lorsque le régulateur perd et que le tiroir reste en charge ou grippe au moment où le mécanicien change la marche; les barres qui s'appliquent sur la coulisse de Stephenson s'altèrent par l'ovalisation du trou qui saisit les tourillons de la coulisse ; on les répare au moyen de bagues en acier; les unes et les autres se faussent par accident ou par suite du dérangement général du montage ; on doit les vérifier fréquemment. L'arbre de distribution, dans les machines à distribution indirecte, se tord et se déforme, les leviers se faussent, et le bouton d'application de la barre d'excentrique pour les uns, l'œil

qui reçoit le bouton d'assemblage de la tige du tiroir pour les autres, s'usent et prennent du jeu; les tourillons et les coussinets de support de l'arbre de distribution s'usent également; toutes ces parties doivent être entretenues avec soin. Le défaut de graissage aggrave, du reste, ces causes d'usure. La coulisse s'use particulièrement dans les parties où porte habituellement le coulisseau et aux points d'attache avec les barres d'excentrique et les bielles de suspension; quelquefois, mais rarement, elle s'ouvre lorsque le coulisseau est au point mort. Le coulisseau s'use aussi très-promptement; l'œil qui reçoit le bouton de la tige du tiroir s'ovalise ainsi que ce bouton. Les diverses parties de la coulisse exigent donc un entretien continuel, surtout lorsque les pièces frottantes ne sont pas en métal très-dur. Si les tentatives que l'on fait maintenant, dans divers ateliers, pour contrebalancer la pression considérable que la vapeur exerce sur les tiroirs et pour annuler en grande partie le frottement et les efforts qui en sont la conséquence, étaient suivies de succès, on gagnerait beaucoup pour la conservation de toutes les pièces de la distribution.

La tige du tiroir est une pièce qui donne lieu à des réparations assez fréquentes; lorsque la transmission du mouvement des excentriques est indirecte, les articulations s'usent, la bielle d'articulation et la tige elle-même se faussent; elle peut se briser lorsque le tiroir grippe ou que le presse-étoupes est trop serré; quand le tiroir est commandé par la coulisse, indépendamment de l'usure de l'articulation qui relie la tige au coulisseau, et des accidents ou dérangements qui la faussent, la liaison de la tige proprement dite avec la pièce qui lui sert de guide donne lieu souvent à des avaries, l'emmanchement qui présente le plus de garanties de solidité est celui qui s'effectue par l'intermédiaire d'un étrier, lorsque le guide se compose d'une pièce rigide emprisonnée entre des coussinets fixes; ces coussinets eux-mêmes s'usent et ont besoin d'être fréquemment rajustés; il convient de les rendre indépendants de leurs supports pour pouvoir les resserrer sans déplacer l'axe du guide. Le cadre qui termine la tige et qui embrasse le tiroir, se fatigue par la dilatation de celui qu'il doit

exactement embrasser, et par les efforts qu'il supporte et qui tendent à l'ouvrir, surtout lorsque le tiroir grippe sur sa table. Les altérations de la tige et du cadre sont plus fréquentes lorsque celui-ci ne porte pas vers l'avant de la machine un appendice servant de guide. Le tiroir s'use d'une manière régulière par le frottement, ou d'une manière inégale lorsqu'il grippe ou lorsque le métal qui le compose ou la fonte du cylindre n'est pas homogène ; il faut réparer avec soin la surface de frottement, pour éviter des altérations qui compromettraient la conservation du tiroir et celle du cylindre, et pour éviter des pertes de vapeur assez considérables.

L'appareil de changement de marche fatigue beaucoup, par suite des efforts considérables auxquels il est soumis dans certains cas, par exemple, lorsque les presse-étoupes des tiges de tiroir sont trop serrés, ou lorsque le régulateur perd et maintient les tiroirs en charge, il fatigue surtout dans les machines à coulisses, pour résister aux efforts de la composante verticale dus à l'inclinaison de la coulisse aux extrémités de course. La réaction exercée par le mécanisme de la distribution sur l'appareil de changement de marche, lui imprime des vibrations qui accélèrent l'usure de ses différentes parties. Quelquefois, la bielle de transmission est courbée pour éviter des pièces qu'elle rencontre sur sa direction et elle se déforme ; l'arbre de transmission se tord ou se déforme ; les leviers de transmission se faussent et toutes les articulations s'ovalisent ; les crans du secteur et le verrou qui s'y engage se mattent. Toutes ces altérations doivent être corrigées avec soin quand elles commencent à se manifester. Les boulons d'articulation et les trous qui les reçoivent, ainsi que le secteur et son verrou, doivent être aciérés.

3° Chassis et supports. — Le châssis se compose de longerons ou brancards, réunis par des traverses et reliés aux différentes parties de la machine ; il est nécessaire qu'il conserve exactement sa forme, de laquelle dépendent le parallélisme des essieux, le maintien des roues d'un même côté dans un même plan parallèle à l'axe de la voie, l'écartement des cylindres et la conservation des axes com-

muns du piston, des glissières et des bielles motrices, la conservation des tiges du mouvement de la distribution parallèlement à l'axe de la voie, et celle des arbres de transmission perpendiculairement à ce même axe. Les causes qui tendent à déformer le châssis et à fausser le montage des différentes pièces qui s'y rattachent, en supposant ce montage parfait au moment où la machine sort de l'atelier, sont : la dilatation de la chaudière, qui tend à déterminer l'allongement des longerons et à les faire gauchir, lorsque cet allongement ayant eu lieu par voie d'étirage du métal, la chaudière se refroidit et se contracte ; le passage dans les courbes, et surtout dans les changements et croisements de voies; les tiraillements intérieurs produits par l'action alternative de la vapeur sur les deux fonds des cylindres et par la réaction de la pression supportée par le piston sur les plaques de garde ; les oscillations produites par les actions perturbatrices intérieures, lorsqu'elles ne sont pas exactement équilibrées; la réaction des inégalités de la voie sur les plaques de garde et les longerons ; enfin, les accidents de toute nature résultant d'une collision ou d'un déraillement. Le châssis peut résister à ces causes de dérangement dans sa forme, mais il peut fléchir et se gauchir momentanément, les appendices et entre autres les plaques de garde peuvent se fausser, les attaches des pièces qu'il doit maintenir dans une position invariable peuvent se relâcher. Tout cela donne lieu à des réparations qui doivent être faites avec beaucoup de soins, et qui ne sont généralement possibles que lorsque la machine entre en grande réparation, pour être complétement démontée. On redresse les pièces faussées, on consolide les attaches, on renforce les parties trop faibles et qu'il importe de rendre inflexibles, et on ajoute de nouveaux moyens de liaison; on remplace ou on répare les pièces qui ont été brisées; on rétablit enfin dans le montage le parallélisme ou la perpendicularité et la position de tous les axes. Lorsque le bois entre dans la composition des châssis, il se pourrit lorsqu'on n'a pas eu soin de le préserver des infiltrations d'eau ; on le remplace, en ayant soin de fermer tout accès à l'eau dans les surfaces de contact et dans les trous de boulons ou de rivets. Les

plaques de garde se mattent lorsqu'elles servent de guide pour les boîtes à graisse; dans ce cas, il faut y rapporter des guides en fonte ou en fer; elles peuvent se gauchir par la réaction de la voie sur les roues; les plaques de garde des roues motrices peuvent se briser sous l'action des forces perturbatrices que développe l'inertie des pièces en mouvement, et dont elles transmettent l'effet au châssis. Les rivets qui assujettissent les plaques de garde aux longerons se relâchent, et ont besoin d'être resserrés ou remplacés, surtout lorsque la machine est fatiguée par la circulation dans des courbes d'un petit rayon. Les extrémités des plaques de garde qui reçoivent les entretoises longitudinales, et que l'on fait souvent trop faibles, peuvent se briser, surtout lorsque les ouvriers du dépôt prennent ces entretoises comme point d'appui pour faire marcher la machine à la pince.

La traverse d'avant se fend lorsque le bois n'est pas parfaitement sec; elle se brise dans les chocs ou, comme on dit en style d'atelier, lorsque la machine donne ou reçoit un *coup de tampon*; il convient de consolider ces traverses, de les construire de deux ou trois morceaux séparés par des feuilles de tôle, et de boulonner l'ensemble qui prend alors une grande rigidité. Les tampons de la traverse se déforment par l'usage et doivent être regarnis de temps en temps. Les chasse-pierres exigent peu d'entretien; mais, en cas d'accident, ou lorsqu'ils rencontrent un obstacle sur la voie, ils se faussent ou se brisent avec une grande facilité.

Les traverses d'arrière n'éprouvent guère d'avaries qu'en cas d'accident, ou lorsqu'elles servent de point d'attache à la barre de traction et que la machine n'est pas convenablement équilibrée par des contrepoids; dans ce dernier cas, le support du boulon d'attache, qu'il soit fixé à la chaudière ou à des entretoises spéciales, est l'objet de réparations dispendieuses, ainsi que le boulon et la barre d'attelage qui prennent rapidement du jeu l'un dans l'autre.

Les ressorts de suspension s'altèrent assez promptement par l'usage, lorsque la qualité de l'acier n'est pas parfaite; ils perdent leur flèche initiale, et il devient nécessaire de retremper les feuilles;

il convient de remplacer les ressorts mis hors de service, et qui ont été fabriqués jusqu'à ces derniers temps en acier de cémentation, par des ressorts en acier fondu. L'altération des ressorts est surtout rapide lorsqu'ils ont été mal construits et qu'ils fonctionnent trop près de leur limite d'élasticité; dans ce dernier cas, il y a souvent des ruptures de feuilles, indépendamment de celles qui ont lieu par défaut de qualité de la matière. On ne doit pas s'attacher seulement à proportionner les ressorts à la charge qu'ils ont à supporter ; il faut encore s'assurer fréquemment si la suspension reste bien réglée et si chaque ressort n'éprouve pas des surcharges résultant d'une mauvaise répartition du poids.

Les coussinets des boites à graisse s'usent par le frottement des fusées, surtout lorsque le défaut de graissage ou l'introduction de grains de sable ou de limaille de fer les fait gripper et chauffer; lorsqu'ils sont trop serrés et pincent la fusée; lorsque les rainures d'huile s'effacent et que les lumières se bouchent, ou lorsque le montage des essieux ou du châssis se dérange; les coussinets se mattent lorsqu'ils prennent du jeu dans la boite à graisse, et se brisent lorsqu'ils deviennent trop minces; on les répare ou on les remplace. Les boites à graisse elles-mêmes se mattent contre les guides et se brisent souvent lorsque le jeu devient trop considérable, ou lorsqu'elles sont soumises à des chocs ou à des efforts violents, principalement lorsque la machine n'est pas équilibrée. On rachète quelquefois le jeu en rapportant des épaisseurs en tôle, mais, ce qu'il y a de mieux à faire, c'est d'appliquer des coins de serrage.

Les essieux, tels qu'on les fabrique maintenant, donnent lieu à peu de réparations, à moins d'accidents qui les brisent ou qui les faussent; les fusées exigent seules un peu d'entretien lorsqu'elles grippent sous l'influence des causes qui font chauffer les boites à graisse.

Les roues donnent lieu, au contraire, à un travail de réparation continuel et qui constitue le chapitre le plus important du budget d'un atelier de chemin de fer. Les moyeux en fonte peuvent se fendre lorsqu'ils sont trop faibles et lorsque l'emmanchement de

l'essieu est trop serré, surtout si les fusées viennent à chauffer fortement; on prévient ou on répare cet accident au moyen de frettes en fer appliquées sur les deux côtés du moyeu. Il arrive aussi que les rais noyés dans la fonte se mattent et s'ébranlent, ou qu'ils se fendent dans les angles lorsqu'ils sont formés de fer à T replié en forme de secteur. La jante, formée par la succession des arcs suivant lesquels sont repliés ces rais, ou par le faux cercle qui les embrasse, ou par la soudure des bras des rais droits en forme de T, peut se briser, principalement aux points de soudure. Les rivets qui fixent le bandage sur la jante s'ébranlent et se coupent en prenant du jeu; le bandage se lamine et se relâche en cessant de serrer la jante. Ces diverses causes d'altérations sont accidentelles; on doit y porter remède dès qu'elles sont signalées. La cause principale d'entretien des roues est l'usure progressive des bandages par leur frottement sur les rails; on les répare en les mettant sur le tour et en leur rendant leur profil normal, puis en les remplaçant lorsque leur épaisseur a été réduite successivement par le travail du tour. Il arrive, en outre, assez fréquemment que les bandages se brisent pendant la marche, surtout lorsqu'ils sont neufs et qu'ils ont reçu trop de serrage; la rupture a lieu généralement dans la soudure. On peut vérifier l'état des soudures suspectes en décapant le bandage avec de l'acide sulfurique faible; l'acide pénètre dans les parties non soudées, y dissout l'oxyde de fer et forme des efflorescences cristallines qui permettent de juger de l'état des soudures.

4° Tender. — Les roues du tender et les ressorts de suspension donnent lieu aux mêmes réparations que les organes correspondants des machines. Le châssis donne lieu à des réparations analogues, mais d'une importance beaucoup moindre, et seulement lorsque la nature des altérations dans le montage est telle que la position des essieux s'en trouve altérée. La caisse donne lieu à des réparations assez importantes; les rivets s'ébranlent et donnent lieu à des fuites que l'on fait disparaître en les mattant ou en les remplaçant; la tôle s'use par l'oxydation ou dans certaines parties par le frottement du

coke ; dans tous les cas, ces réparations sont simples et peu dispendieuses. Les tuyaux de prise d'eau donnent lieu aux mêmes réparations que les tuyaux d'aspiration de la machine. Le frein donne lieu à un entretien qui, généralement, n'est pas fait avec assez de soin et d'assiduité ; indépendamment de l'usure du mécanisme et des accidents qu'il peut éprouver, il est nécessaire de changer assez fréquemment les sabots en bois, ou d'y rapporter des cercles pour les user jusqu'à la dernière limite. On devrait avoir soin, et c'est là ce qu'on néglige trop souvent, de rafraîchir la surface frottante des sabots, de telle sorte qu'elle puisse toujours s'appliquer sur la gorge qui se creuse dans le bandage de la roue ; lorsqu'on néglige cette précaution, le sabot ne porte que sur la partie extérieure de la roue qui reste en saillie sur la gorge de roulement ; ce bourrelet se polit ainsi que la partie correspondante du sabot, et il faut exercer un effort considérable sur la manivelle du frein pour caler complétement les roues, encore n'y parvient-on que rarement.

§ 3. — Outillage et Personnel.

1° Outillage. — Il est très-important, lorsqu'on doit organiser le service d'un chemin de fer, d'être fixé sur l'importance et la nature de l'outillage dont les ateliers devront être pourvus ; on ne saurait, à cet égard, donner des préceptes généraux, car il faudrait tenir compte de divers éléments qui ne peuvent être appréciés que dans chaque cas particulier. Nous nous contenterons de citer quelques exemples qui pourront servir de point de départ. Nous prendrons pour cela trois chemins de fer dont l'exploitation est organisée complétement, et dont l'outillage peut être considéré comme suffisant dans l'état actuel de leur trafic ; ce sont les trois chemins de fer ou groupes de chemins de fer du Nord, d'Orléans et du Centre, de Saint-Germain et de Versailles (R. D.) Nous avons compris, dans notre statistique, l'outillage spécial des ateliers de voitures, parce que la réparation des voitures emprunte une grande partie de son travail aux ateliers

de forge, de tours et d'ajustage, qui dépendent de l'atelier des machines; la division peut bien s'établir pour la comptabilité des dépenses, mais il serait difficile de l'établir pour l'outillage et mme pour le personnel ; nous aurions, sans cela, dressé un tableau trop ou trop peu complet. La même observation s'applique au petit outillage réparti dans les dépôts, et qui concourt, sous la forme de petites réparations, à l'entretien général du matériel. Nous avons, pour ne pas tomber dans des détails trop minutieux, groupé les machines-outils et appareils divers, par espèces qui comprennent tous les outils construits pour une même destination, sans avoir égard aux dimensions, aux différences de forme et aux usages auxquels on les applique ; chaque groupe un peu nombreux représentera donc un assortiment d'appareils variés.

TABLEAU DE L'OUTILLAGE DE DIFFÉRENTS CHEMINS DE FER.

DÉSIGNATION des MACHINES ET APPAREILS.	NORD.				ORLÉANS ET CENTRE.			SAINT-GERMAIN ET VERSAILLES (R. D.)
	La Chapelle.	Amiens.	Lille.	Ensemble.	Ivry.	Orléans.	Ensemble.	
Machines à vapeur	2	1	1	4	3	1	4	1
Grues à pivot pour lever les machines	1	1	1	3	1	1	2	»
Grues roulantes d°	2	»	1	3	»		»	»
Treuil d°	»	»	1	1	1	»	1	»
Treuil pour lever les caisses des voitures	2	»	»	2	1	»	1	»
Grues diverses	7	1	1	9	7	»	7	2
Grues-potence	4	»	»	4	3	»	3	»
Bascule à six ponts pour régler les ressorts	1	»	»	1	»	»	»	»
Bascules de 500 kilogrammes et au-dessus	5	1	1	7	1	»	1	»
Fours à réverbère	1	»	»	1	»	»	»	1
Fours à bandage	3	»	»	3	3	»	3	1
Ventilateurs	2	1	1	4	2	1	3	2
Forges à 2 feux	28	4	4	36	6	»	6	6
Id. simples	25	»	1	26	21	6	27	4
Id. volantes	8	4	6	18	7	»	7	2
Id. boulonnières	2	2	1	5	2	»	2	»
Etaux à chaud	4	2	2	8	4	»	4	4
Marteaux-pilons	1	»	»	1	1	»	1	»
Martinets à vapeur	2	»	»	2	1	»	1	1
Machines à cintrer et mandriner les bandages	2	»	»	2	1	»	1	1
Cuves à refroidir	2	»	»	2	1	»	»	»
Presse à caler et décaler les roues	1	1	1	3	2	»	2	»
Meules	5	2	5	12	9	2	11	2
Marbres	6	»	9	15	21	»	21	2
Tours doubles pour roues de machines	3	1	2	6	1	1	2	»
Tours doubles pour roues de supports et de tenders	3	»	»	3	»	»	»	»

DESIGNATION des MACHINES ET APPAREILS.	NORD.				ORLÉANS ET CENTRE.			SAINT-GERMAIN ET VERSAILLES (R. D.).
	La Chapelle.	Amiens.	Lille.	Ensemble.	Ivry.	Orléans.	Ensemble.	
Tours doubles pour roues de wagons	9	»	»	9	3	1	4	1
Tours additionnels ou simples	»	1	»	1	1	»	1	2
Id. pour fusées d'essieux	1	»	»	1	»	»	»	»
Id. simples pour roues de machines et tenders	»	1	1	2	1	»	1	2
Id. parallèles	8	2	1	11	12	»	12	3
Id. simples	15	3	3	21	9	6	15	4
Id. à fileter	3	1	1	5	2	1	3	»
Id. sphériques	2	»	1	3	1	»	1	»
Machines à tarauder	8	1	1	10	1	»	1	4
Id. à tailler les écrous	»	»	»	»	1	»	1	1
Id. à percer, radiales	3	»	»	3	2	»	2	»
Id. à percer et aléser	3	1	1	5	1	»	1	»
Id. à percer	10	3	6	19	12	2	14	8
Id. à aléser horizontales	2	»	»	2	1	»	1	1
Id. à aléser les cylindres sur place	1	»	1	2	1	»	1	1
Id. à mortaiser	3	»	1	4	1	»	1	1
Id. à planer et raboter	14	5	5	24	14	»	14	4
Id. à tailler les surfaces	2	»	»	2	»	»	»	»
Id. à tailler les coulisses	1	»	»	1	2	»	2	»
Etaux d'ajusteur	189	64	78	331	200	24	224	72
Cuves à décaper	2	»	1	3	1	»	1	»
Presse à essayer les tubes	1	1	1	3	1	»	1	1
Machines à cisailler ou poinçonner	5	3	»	8	3	»	3	2
Fours à chauffer les feuilles des ressorts	2	»	»	2	»	»	»	»
Cuves pour la trempe des ressorts	1	2	2	5	1	»	1	1
Machines à cintrer les feuilles des ressorts	1	»	»	1	1	»	1	1
Laminoirs pour redresser les feuilles des ressorts	1	»	»	1	»	»	»	»
Machines à essayer les ressorts	1	»	»	1	1	»	1	1
Fourneaux à fondre le cuivre	1	»	»	1	»	»	»	»
Etuves pour sécher les moules	1	»	»	1	»	»	»	»

DÉSIGNATION des MACHINES ET APPAREILS.	NORD.				ORLÉANS ET CENTRE.			SAINT-GERMAIN ET VERSAILLES (R.D.)
	La Chapelle.	Amiens.	Lille.	Ensemble.	Ivry.	Orléans.	Ensemble.	
Cubilots	1	»	»	1	»	»	»	»
Moulins à sable	1	»	»	1	»	»	»	»
Presses hydrauliques à essayer les chaudières	1	»	1	2	»	»	»	1
Machines à faire les moulures	1	»	»	1	»	»	»	»
Tours à bois	1	»	»	1	2	»	2	1
Machines à découper le bois	1	»	»	1	»	»	»	»
Scies circulaires	5	»	»	5	2	»	2	1
Id. à débiter les bois en grume	1	»	»	1	»	»	»	»
Id. à débillarder	1	»	»	1	»	»	»	»
Machines à faire les coins	1	»	»	1	1	»	1	»
Etablis de menuisier	55	2	4	61	52	»	52	25
Etablis de menuisier avec étaux	13	»	6	19	8	»	8	»
Machine à broyer les couleurs	2	»	»	2	1	»	1	»

Nous ne chercherons pas à décrire les divers appareils mécaniques qui composent l'outillage d'un atelier de chemin de fer; notre cadre ne le comporte pas, et nous nous trouverions entraînés à faire un travail auquel il serait difficile d'assigner des bornes.

Nous ferons remarquer seulement que, dans un atelier de réparations, encore plus que dans un atelier de construction, on doit s'appliquer à rendre toutes les manœuvres de force aussi simples que possible; des pièces à réparer, telles que des roues à tourner, des cylindres à aleser, exigent moins de travail que des pièces neuves à ébaucher et finir ; il faut éviter que les frais de mise en place sur les machines-outils atteignent des proportions trop considérables par rapport aux frais du travail d'ajustage. On doit de même s'appliquer à ce que l'action des machines-outils, par l'énergie de leur action, soit aussi prompte que possible. Nous citerons spécialement, à ce point de vue, des tours à roues de wagons construits récemment par M. Calla pour le chemin de fer du Nord,

où les arbres de transmission passent sous le plancher de l'atelier, de telle sorte qu'on peut amener les roues, en les faisant rouler sans effort, presque en regard des pointes et les mettre en place avec la plus grande facilité ; ces tours sont constitués en outre pour enlever des copeaux d'un centimètre environ d'épaisseur, ils deviennent ainsi très-expéditifs et peu coûteux de main-d'œuvre.

2° Personnel. — Le personnel employé dans un atelier de réparation d'un chemin de fer est très-nombreux et surtout très-varié dans sa composition ; on y rencontre des ouvriers de presque toutes les professions : forgerons, chaudronniers, fondeurs en métaux, ajusteurs, tourneurs, monteurs, menuisiers, charrons, selliers, peintres, ferblantiers, etc., indépendamment des employés de bureau, agents comptables, gardes-magasins, surveillants et hommes d'équipe.

Nous n'essaierons pas de donner la statistique du personnel employé dans nos ateliers principaux ; on le compose au fur et à mesure des besoins, il varie suivant l'importance et la nature des travaux. On doit cependant éviter de trop fréquentes variations ; les travaux de réparation et de construction d'un matériel de chemin de fer exigent dans chaque profession une certaine spécialité, une habitude de précision qu'on ne trouve pas toujours parmi les ouvriers qui sortent des ateliers particuliers, à moins que ces ateliers ne soient affectés spécialement à la construction des machines et des wagons. On doit donc éviter les variations dans le nombre des ouvriers, et on peut pour cela se créer des travaux utiles, mais non pressés, tels que construction de quelques machines neuves ou tenders, modifications de systèmes de machines, construction ou transformation de wagons, etc., afin de donner de l'occupation aux ouvriers aux époques où l'importance des réparations diminue.

On doit s'appliquer en outre à composer le personnel d'ouvriers d'habitudes sédentaires et régulières et vivant en famille, qui finissent par se considérer comme faisant partie du personnel permanent de la Compagnie du chemin de fer, y trouvant un travail

assuré pour eux et une carrière pour leurs enfants. On peut éviter ainsi ces dérangemens périodiques, ces chômages en quelque sorte hebdomadaires qui sont désastreux, surtout pour un atelier de chemin de fer où la besogne est toujours pressée.

On remarque sur quelques chemins de fer diverses institutions qui méritent de fixer l'attention de toutes les personnes qui ont à établir un nombreux personnel ; nous ne parlerons pas ici des caisses de secours en cas de maladie ou d'accident et des caisses de retraite que l'on commence à trouver dans les grands établissements industriels; mais nous citerons en outre le comptoir d'objets de première nécessité, établi au chemin de fer de Saint-Germain, où les ouvriers trouvent, au prix de revient, des denrées d'épicerie, de grosse mercerie, etc., qui sont distribuées aux ouvriers par le magasin, et dont la valeur est retenue sur le montant de leurs salaires ; ce n'est pas seulement une véritable augmentation de salaire dont les ouvriers profitent, sans nouveaux sacrifices de la part de la Compagnie, mais encore ils reçoivent des objets de consommation plus sains que ceux qu'ils pourraient acheter chez de petits débitants ; ils consacrent plus volontiers des sommes qu'ils ne sont pas obligés de débourser en écus aux besoins de leur ménage, et, en définitive, il en résulte un certain accroissement de bien-être qui tourne au profit de tout le monde. C'est là un des nombreux moyens que l'on peut employer pour fixer les ouvriers, en s'appliquant à dévolopper leur bien-être moral et matériel. Le but est moins facile à atteindre dans les ateliers où les ouvriers se comptent par centaines, que dans les ateliers peu importants, mais on peut y arriver avec le temps.

§ 4. — Travail des roues.

Nous n'avons pas pu songer à décrire les procédés de travail employés dans chaque atelier spécial; la plupart de ces travaux ne diffèrent pas de ceux qui s'exécutent dans tous les ateliers de mécanique, forge, fonderie, chaudronnerie, travail des tours et machines-outils de natures diverses, menuiserie, charronnage, peinture, sellerie, etc. ; il faudrait, en quelque sorte, entreprendre pour cela une nouvelle Encyclopédie des Arts et Métiers au dix-neuvième

siècle. Nous nous attacherons seulement à donner quelques détails sur l'entretien et les réparations des roues, qui forment l'une des parties les plus importantes du service d'un atelier de chemin de fer.

Les bandages sont ordinairement fournis par les forges, en barres droites coupées de longueur; ils doivent être fabriqués en entier au marteau, en fer au bois aciéreux ou dur, et ne doivent passer sous le laminoir que pour recevoir leur forme régulière et définitive. Pendant longtemps, en France, on a fabriqué des bandages laminés et composés de deux parties, l'une intérieure en fer de qualité ordinaire, l'autre extérieure en fer de bonne qualité, soudées au laminoir; ces bandages défectueux par la qualité des matières, par le mode de fabrication et par le fait même de la réunion de deux qualités de fer, restaient beaucoup au-dessous des bandages de l'usine anglaise de Low-Moor, dont la qualité a été toujours renommée à juste titre. Depuis quelques années, plusieurs maîtres de forge se sont appliqués à fabriquer, au marteau-pilon, avec de bons fers au bois, des bandages qui ne laissent rien à désirer à côté des meilleurs produits anglais. De nombreuses tentatives ont été faites pour fabriquer des bandages aciérés, mais elles ont en général échoué par suite de la difficulté de faire la soudure de deux métaux hétérogènes, ou de la soudure des deux extrémités rapprochées par le cintrage. On a essayé, il y a longtemps déjà, de fabriquer des bandages en acier fondu, et depuis peu de temps on renouvelle ces essais. Il y a tout lieu de croire que c'est la direction dans laquelle il convient d'entrer; si l'on parvient à faire de bonnes soudures, ou à fabriquer des bandages sans soudure, on peut espérer que l'augmentation des frais de matière première sera largement compensée par l'économie des frais d'entretien.

Les bandages sont généralement livrés bruts et en barres droites aux ateliers de chemins de fer où ils sont cintrés, soudés et mandrinés au diamètre convenable. Plusieurs fabricants offrent maintenant des bandages soudés, ou même fabriqués sans soudure; on peut adopter ce mode de fourniture pour simplifier le travail des ateliers, mais il reste toujours à chauffer les bandages pour les mettre sur la jante, et il convient même de les mandriner à la de-

mande de chacune des roues sur lesquelles on les applique ; il faut, dans ce cas, vérifier avec soin l'état de la soudure.

Les barres droites, destinées à la confection des bandages, sont coupées de longueur à la cisaille ; on commence par refouler les extrémités, après les avoir chauffées au rouge, soit en suspendant la barre à la charpente de l'atelier et la lançant contre un tas en fonte, soit en maintenant la barre fixe et la frappant aux extrémités avec un marteau refouloir, du poids de 100 à 180 kilogrammes, fixé à un long manche en bois, suspendu à la charpente ; chaque extrémité reste plate ou est refoulée en biseau, suivant le mode de soudure qu'on adopte.

On place ensuite les barres ainsi préparées dans un four à réverbère, où on les chauffe au rouge ; on les amène successivement sur la machine à cintrer, qui se compose d'un grand plateau en fonte, percé de trous, et garni d'un mandrin qui représente en plein le vide intérieur du bandage une fois cintré; on cale une des extrémités de la barre contre le mandrin, et, au moyen de pinces et de grands leviers armés de galets, qui prennent leur point d'appui dans les trous du plateau, on applique successivement la barre sur le mandrin, dont le diamètre est du reste tel que les deux extrémités soient amenées presque en contact à $0^{m},01$ environ de distance.

Le bandage cintré est ensuite porté à la forge à souder, où les deux extrémités refoulées et rapprochées sont portées au rouge blanc ; on chauffe à part des coins en fer préparés à l'avance, et qui correspondent aux échancrures résultant du refoulage ; on les applique dans ces échancrures, on soude vivement avec le marteau à main, et ensuite on pare la soudure avec la tranche et le marteau, pour rendre à la partie soudée le profil normal du bandage.

Les bandages soudés sont portés dans un four circulaire à calotte mobile, ou dans un four à réverbère à sole carrée et à voûte surbaissée, où on les chauffe au rouge. Le bandage, soudé sur un diamètre définitif, est alors placé sur le plateau de la machine à cintrer, ou sur un plateau spécial, lorsque le travail est assez considérable pour qu'on puisse occuper deux appareils ; il enveloppe un cercle en

fonte, composé de quatre ou six segments, commandés au centre par un coin pyramidal mis en mouvement par une vis de rappel; les segments ou mandrins s'écartent sous l'action de cette vis, sollicitée par de grands leviers manœuvrés à bras d'homme, ou par une série d'engrenages mus mécaniquement, et pressent à l'intérieur le bandage qui se met au rond et *s'écarte* au diamètre voulu.

On peut exécuter le cintrage et le mandrinage des bandages au moyen d'une machine qui se compose d'un petit laminoir qui entraîne la barre ou le bandage cintré, et de deux galets que l'on fixe sur le plateau de l'appareil, et qui forcent la barre à se courber; on arrive ainsi à mettre parfaitement au rond les bandages soudés.

Lorsque le bandage est cintré, soit au moyen d'une machine à mandriner très-énergique, soit au moyen de la machine dont nous venons d'indiquer le principe, on peut, à la rigueur, se dispenser de l'aléser intérieurement, pour l'appliquer sur la jante de la roue. L'alésage des bandages, lorsqu'on le juge encore nécessaire, soit d'une manière générale, soit exceptionnellement pour ceux dont le mandrinage peut laisser à désirer, s'effectue sur un tour simple ou sur un tour double, sur chacun des plateaux duquel on place un bandage, centré aussi exactement que possible.

L'embattage des roues est l'opération dans laquelle on place les bandages, chauds et dilatés, sur les roues qu'ils étreignent fortement par le retrait. On chauffe le bandage au rouge-brun, on le place sur une table en fonte percée d'un trou central qui donne place au moyeu et à la manivelle, et, au moyen d'une grue, on fait descendre la roue sur le bandage qu'on laisse refroidir lentement ou qu'on immerge dans une cuve pleine d'eau; le bandage est alésé ou mandriné à un diamètre un peu plus petit que celui de la jante qui doit le recevoir; ce diamètre, par la dilatation, devient supérieur à celui de la jante, l'assemblage se fait facilement, et après le refroidissement il existe un serrage plus ou moins fort suivant les circonstances. Lorsqu'on n'alèse pas les bandages, on tâche de les embattre pendant qu'ils sont encore suffisamment chauds, on évite ainsi de nouveaux frais de chauffage et de main-d'œuvre.

Le désembattage est l'opération inverse de la précédente : elle consiste à enlever les bandages usés et qui doivent être remplacés. Il suffit pour cela, après avoir enlevé les rivets, de couper le bandage au burin ou sous la machine à mortaiser, ou de chauffer une partie de la circonférence de la roue sur un feu de forge, de manière à produire une dilatation suffisante pour qu'au moyen du marteau on puisse faire tomber le bandage. Après avoir décerclé une roue, avant de remettre un nouveau bandage, on doit s'assurer si la jante est restée cylindrique, et au besoin la rafraîchir sur le tour.

Il arrive quelquefois, surtout avec les roues à rayons en fer laminé et avec des bandages de qualité médiocre, que le serrage disparaît, soit parce que la jante de la roue a diminué de diamètre, soit parce que le bandage s'est agrandi et que celui-ci est devenu mobile sur la roue ; les rivets se coupent ou s'arrachent et une réparation devient nécessaire. On enlève le bandage avec soin, on enveloppe la jante d'une bande de tôle ou de fer feuillard dont l'épaisseur correspond au serrage que l'on veut rétablir, et on replace le bandage à chaud comme sur une roue neuve. Il faut avoir soin pour cela de replacer exactement les trous de rivets en regard les uns des autres ; on les perce dans la tôle avant d'appliquer le bandage, et au moyen de broches en fer passées dans les trous de rivets, on ramène celui-ci à sa position exacte, si la pose n'a pas été obtenue au moyen des repères tracés sur la roue et sur le bandage.

Lorsque les roues ont été garnies de leur bandage, il reste à les caler sur l'essieu ; ce travail s'exécute au moyen d'une presse à vis ou d'une presse hydraulique. Le calage doit être à frottement dur, et la clavette ne doit être considérée que comme une clef de retenue, destinée à empêcher la roue de tourner sur la portée, dans le cas où elle serait soumise à un effort très-considérable. On doit se servir de calibres établis avec soin, pour fixer la position de chaque roue, de telle sorte qu'il y ait entre les deux roues l'écartement voulu et que chaque roue soit bien placée par rapport à sa fusée. La pression sous laquelle il faut caler les roues est très-considérable ; elle doit varier du reste avec le diamètre de la roue, avec

celui de la portée, les dimensions du moyeu, etc.; le tableau suivant indique la règle adoptée pour quelques-unes des roues du chemin de fer du Nord, on admet seulement une tolérance de 5,000 kgr au-dessus et au-dessous de ces poids, et les dimensions de la portée de l'essieu et de celles du moyeu doivent être telles, qu'à la limite inférieure la roue ne puisse pas être mise en place, et qu'il ne soit pas nécessaire d'atteindre la limite supérieure pour rendre le calage complet.

Désignation des machines.		Pression moyenne de calage.
Roues motrices des machines à voyageurs		70,000 kgr.
Roues de support des machines	type Stephenson	50,000
Do à voyageurs.	type Clapeyron	40,000
Roues de tender,	type nouveau (moyeux forts)	40,000
	id. (moyeux faibles)	25,000
Roues de wagon,	nouvelles	25,000
	anciennes	15,000
Boutons de manivelles		15,000

Le décalage des roues s'effectue au moyen du même appareil.

Les rivets ou les boulons qui fixent le bandage sur la roue, se posent habituellement lorsque la roue est complétement montée et que le bandage a reçu sa forme définitive sur le tour; on perce les trous des rivets au moyen d'une machine radiale à percer. Lorsqu'il s'agit d'un bandage neuf placé sur une roue qui a déjà servi, on repère avec beaucoup de soin la position des trous percés dans la jante, pour les rapporter sur la face extérieure du bandage; on se sert pour cela d'un petit appareil en forme de sergent.

Lorsque les moyeux en fonte se fendent, soit en service, soit au travail du calage, ou même lorsqu'on a quelques doutes sur leur solidité, on les consolide au moyen de frettes en fer placées à chaud et fortement serrées. Lorsqu'il faut fretter une roue motrice armée d'une manivelle extérieure, il faut enlever, autour du moyeu propre-

ment dit, une partie de l'épaisseur de la manivelle, pour faire la place du cercle appliqué sur une saillie extérieure, ou faire une frette placée sur la manivelle qui épouse exactement toutes ses formes.

Les bandages sont tournés et amenés au profil définitif sur des tours doubles, affectés spécialement à ce travail; nous ne décrirons pas ces machines-outils, nous renverrons pour cela, et pour de plus amples détails, sur les appareils employés au travail des roues, au Mémoire de M. Nozo inséré dans le compte rendu de la Société des Ingénieurs civils, 2e trimestre 1849. Les bandages sont rafraîchis sur le tour et ramenés au profil normal au fur et à mesure qu'ils se creusent en forme de gorge, et leur épaisseur va sans cesse en diminuant. Ils sont maintenus en service tant que les rivets conservent une tête assez longue et que le bandage lui-même conserve assez d'épaisseur pour qu'il n'y ait pas à craindre de voir les roues se décercler en service. La limite d'épaisseur à laquelle on met les bandages hors de service, peut varier suivant leur qualité et la nature du travail auquel les véhicules sont appliqués, et suivant le mode de construction des roues elles-mêmes; cette limite est pour les machines locomotives de $0^m,030$ à $0^m,025$, pour les tenders de $0^m,025$ à $0^m,020$, pour les voitures et wagons de $0^m,020$ à $0^m,015$. On peut évaluer à un parcours moyen de 50,000 kilomètres environ le service que peut faire un bandage neuf jusqu'au moment où il convient de le remplacer; cette moyenne tend à s'élever par l'amélioration très-notable qu'a reçue depuis quelque temps la fabrication des bandages, et par l'épaisseur de plus en plus grande que l'on tend à donner aux bandages neufs. Il y a tout avantage à rafraîchir fréquemment les bandages, car l'usure croît *progressivement* avec le service; on arrive maintenant à retourner les bandages lorsqu'ils ont $0^m,002$ à $0^m,003$ de creux; il faut alors s'appliquer d'une manière toute spéciale à simplifier les manœuvres accessoires pour enlever les roues sous les wagons et les machines, les approcher du tour et les mettre sur pointes.

Les essieux exigent peu d'entretien; quelquefois, il faut les redresser lorsqu'ils ont été faussés par suite d'un accident. Les fusées, lorsqu'elles ont grippé et qu'elles sont profondément rayées,

peuvent être tournées au crochet, l'essieu monté étant simplement placé sur un châssis en bois, sur les deux fusées servant de tourillons, et mis en mouvement à la main; cette réparation ne se fait qu'exceptionnellement, surtout pour les roues de machines. Quand les fusées extérieures, et spécialement celles des essieux de wagon sont trop endommagées ou lorsqu'elles se cassent, on les coupe et on rapporte à la forge une masse de fer corroyé de première qualité, on étire ensuite dans cette masse le nouveau bout d'essieu.

On obtient de bons résultats pour la conservation des fusées, de la trempe en paquet ou d'un martelage à petits coups qui écrouit le métal à la surface et le rend moins facile à entamer lorsque la boite à graisse chauffe.

§ 5. — Prix de revient.

On s'applique dans la comptabilité des ateliers de chemins de fer, à décomposer toutes les dépenses par objets fabriqués ou réparés, et pour chaque objet par éléments : matières, main-d'œuvre, frais généraux, etc. Il est à regretter seulement qu'il y ait entre les divers chemins de fer une divergence entre les procédés de comptabilité, qui ne permet pas toujours de comparer les résultats. Il y a lieu d'espérer cependant que les diverses administrations; comprendront l'intérêt de l'uniformité dans la distribution du travail et dans le mode d'établissement des prix de revient; on arrivera ainsi à établir une sorte de tarif des travaux de construction et de réparation, analogue à celui que l'on a établi pour les travaux d'architecture, et qui rendra les plus grands services pour la direction économique des ateliers. Nous appelons sur ce point l'attention des administrateurs et des ingénieurs chargés de la direction de nos chemins de fer.

Nous donnerons quelques résultats qui, bien qu'isolés, ne manqueront pas de présenter un certain intérêt. Le travail de M. Nozo sur les roues, que nous avons déjà cité, renferme des renseignements intéressants sur le prix de revient de ce travail spécial; sans

entrer dans la décomposition de ce prix de revient, comme l'a fait M. Nozo, nous nous contenterons d'en donner le résumé :

	Prix de revient de la matière travaillée par kilogramme.
1° Bandages de roues motrices de machines à voyageurs de 1m 68 de diam. achetés en barres (à 0f,75 le kil.), refoulés, cintrés, soudés et arrondis, prêts à aléser..................	0f, 817
2° Bandages de roues de support de machines de 1m 06 de diamètre, même travail..................................	0f, 883
3° Bandages de roues de voitures et wagons de 0m, 91 (à 0f,60 le kil. en barres), même travail....................	0f,7636
4° Bandages de roues motrices (1°), alésés, embattus et tournés..	0f, 937
5° Bandages de roues de support de machines (2°), même travail..	1f, 002
6° Bandages de roues de voitures et de wagons, même travail..	0f, 904

M. Nozo a cherché également à établir le prix de revient par kilomètre parcouru et par paire de roues, de l'entretien et du renouvellement des bandages ; il est arrivé aux résultats suivants :

		Épaisseur des bandages.	Parcours total.	Prix de revient du kilomètre parcouru.
Roues motrices...........	de 1m,68	— 0m,035	— 45,000km	— 0f,0139
Roues de support.........	de 1m,06	— 0m,053	— 30,000km	— 0f,0079
Roues de voitures et wagons	de 0m,91	— 0m,040	— 30,000km	— 0f,0045
id		— 0m,035	— 87,000km	— 0f,0030
Ensemble des roues d'une machine à voyageurs et de son tender				— 0f,0495
Id. *id.* marchandises *id.*				— 0f,0615

Les chiffres qui précèdent comprennent le prix d'achat des bandages bruts, et comme déduction le prix des vieux bandages ; les frais généraux sont comptés à 50 p. 0/0 de la main-d'œuvre de l'atelier.

Le chemin de fer du Nord nous a fourni en outre quelques exemples de prix de revient isolés que nous citerons encore ici : ce sont des prix de marchandage alloués à des associations d'ouvriers qui, sous la direction de l'ingénieur des ateliers, sont groupés pour l'exécution de certains travaux d'ensemble ; ils ne comprennent que le salaire des ouvriers spéciaux, les matières, le com-

bustible, la force mécanique, les outils et ustensiles, etc., étant fournis par la Compagnie.

1° ENTREPRISE DE LA RÉPARATION DES TUBES A FUMÉE.

Démontage. Enlèvement des viroles et des tubes, par tube.................................. » fr. 55 c.

Réparation. Les tubes sont découpés, grattés, coupés, fraisés, raboutés, ajustés et essayés à la presse; par tube.................................. » 75

Montage. Mise en place et pose des viroles; par tube.................................. » 55

Total.......... 1 fr. 85 c.

Démontage et pose des viroles séparément (quel que soit le nombre); par virole.................. » fr. 25 c.

L'entreprise est chargée du transport des tubes dans l'atelier; les tubes et viroles qui fuient sont réparés à ses frais.

2° ENTREPRISE DE FABRICATION DES TUYAUX.

Tuyaux d'échappement et de vérification des pompes, le kil.................................. » fr. 80 c.

Tuyaux de réchauffage et de prise de vapeur, le kil.................................. » 40

Tuyaux d'aspiration et de refoulement des pompes, le kil.................................. » 25

Ces ix ne comprennent ni la pose ni l'ajustement.

3° ENTREPRISE POUR LA POSE DES FOYERS NEUFS.

Perçage des trous dans la plaque tubulaire et des trous de rivets; perçage et alésage des trous d'entretoises.................................. 20 fr. »

4° ENTREPRISE DE RÉPARATION DES PISTONS.

Les pistons à réparer sont rendus par l'entreprise prêts à remettre en place.

Ajustage. Remplacement des segments (s'il y a lieu), des boulons, des ressorts et freins ou clavettes, redressage des faces des coins de serrage, remontage des pistons prêts à être posés; par piston.... 3 fr. 50 c.

Travail du tour. Redressage des plateaux, mise au diamètre des segments, rodage, chariotage des tiges, etc.; par piston........................ 3 fr. 50

5° ENTREPRISE DES BOÎTES A GRAISSE.

1° *Réparation*. Coussinets neufs à ajuster, trous à percer, rainures à tracer, épaisseurs à poser, dessous de boîte à poser, quel que soit le système, par boîte.................................... 4 fr. 50

2° *Construction*, non compris les travaux de rabotage et de tour, coussinet et contre-coussinet à ajuster, verroux du dessous de boîte à poser, trous et rainures du coussinet à exécuter; pour les machines à châssis intérieur, par boîte à graisse..... 5 fr. »

6° ENTREPRISE DE RABOTAGE.

Rabotage et alésage de toutes les pièces qui entrent dans le matériel de la Compagnie. Les pièces sont dégrossies ou écroutées avant le traçage, rabotées jusqu'au trait à une ou plusieurs passes, y compris les manœuvres pour mettre les pièces sur les outils, les prendre et rapporter à pied d'œuvre; par centimètre carré de surface rabotée utile......... » 0025

7° ENTREPRISE DE RÉPARATION DES FERRURES DE WAGONS.

Forge et ajustage de ferrures réparées; par kilog. » fr. 25 c.

8° ENTREPRISE DE RÉPARATION DE RESSORTS.

Démontage des ressorts, triage, réparation et appareillage des feuilles; remplacement des feuilles hors de service; réparation ou remplacement des

mains en fer, cintrage et trempe, ajustage et montage, peinture à une couche et essai à la machine, entretien des outils confiés à la société, transports des ressorts réparés ou à réparer.

Ressorts à feuilles ajustées ; par kilog	» fr. 07
Id. séparées ; *id.*	» fr. 05

9° ENTREPRISE DE RÉPARATION GÉNÉRALE DES BIELLES.

Le travail comprend : le calibrage des cages, l'ajustage des coussinets neufs ou à réparer au moyen de cales d'épaisseur, pour racheter l'usure, l'ajustage des clavettes neuves ou vieilles, perçage de trous de goupilles et petites clavettes d'arrêt. Le calibrage des vis de serrage (livrées par la Compagnie, taraudées) ; la réparation des godets graisseurs ; la confection des rainures de graissage dans les coussinets, enfin, le polissage à neuf des corps de bielles.

Les prix sont les suivants :

Par bielles droites des machines, système Clapeyron..	7 fr.
Id. à fourche..............................	14
Id. d'accouplement........................	10

Le travail du tour, du rabotage et de l'alésage n'est pas compris dans ces prix.

10° ENTREPRISE DE PEINTURE DES MACHINES ET TENDERS.

Peinture en vert, y compris les fournitures des matières (livrées en compte par la Compagnie).

	Peinture entière.	—	Demi-peinture.
Machines à voyageurs ou à marchandises	55 fr.	—	40 fr.
Tenders..........................	45	—	35
Machines Crampton................	60	—	45

Le chemin de fer d'Orléans nous a fourni un exemple très-complet de prix de revient, qui s'applique à des machines d'un type spécial, mais qui sera néanmoins très-intéressant à consulter pour les personnes qui voudront se rendre compte de la répartition des frais de construction d'une machine entre ses diverses pièces, et du prix élémentaire de chacune d'elles. Le tableau suivant a été dressé

LA…

…ECH…	…	RÉSUMÉ. MATIÈRES.	MAIN-D'OEUVRE.	TOTAL.	FRAIS GÉNÉR. de 50 % de la m.-d'œuv.	TOTAL GÉNÉRAL.	PRIX DU KILO ouvré.
		fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
5 en… 45 ba… vu…		12,779 19	746 02	13,525 21	373 01	13,898 22	3 126
1,870…		653 75	1,248 40	1,902 15	624 20	2,526 35	2 608
3 cad…		2,508 66	1,923 21	4,431 87	961 61	5,393 48	6 529
125 1…		746 78	423 65	1,170 43	211 83	1,382 26	1 014
25 b…		343 23	24 75	367 98	12 37	380 35	0 334
3 m…		13 02	4 02	17 04	2 01	19 05	1 058
		1 80	5 78	7 58	2 89	10 47	0 317
	•	17,046 43	4,375 83	21,422 26	2,187 92	23,610 18	2 685
900… 1,80…		26,041 05	468 60	26,509 65	234 30	26,743 95	2 516
		283 45	186 55	470 »	93 27	563 27	3 516
		26,324 50	655 15	26,979 65	327 57	27,307 22	2 551
5 c… 5 g…		37 14	57 44	94 58	28 72	123 30	1 988
10…		196 02	86 80	282 82	43 40	326 22	4 422
5 c…	•	47 29	44 93	92 22	22 47	114 69	1 082
10…	74	302 95	208 15	511 10	104 08	615 18	0 956
10…	8	229 05	222 33	451 38	111 17	562 55	1 261
70…	2	68 44	45 15	113 59	22 58	136 17	1 173
30…	•	176 70	57 38	234 08	28 69	262 77	1 057
Co…	73	579 11	615 27	1,194 37	307 02	1,501 39	1 540
10…	•	104 »	127 18	231 18	63 39	294 77	1 473
d…		280 »	»	280 »	»	280 »	»
35…	•	365 98	196 05	560 05	98 02	658 05	3 720
5 c…	•	33 76	81 35	115 11	40 67	155 78	1 617
200…	•	41 64	29 65	71 29	14 82	89 11	1 615
135…	•	85 71	77 19	162 90	38 59	201 49	3 656
5 c…	•	25 64	67 50	93 14	33 75	126 89	2 671
330…	19,0…	23,620 55	»	23,620 55	»	23,620 55	1 201
10…	•	73 66	179 70	253 36	89 84	343 20	3 90
Tol…	•	977 32	144 66	1,121 98	3 77	1,125 75	3 90
	•	271 09	»	271 09	»	271 09	»
	•	27,526 08	2,240 69	29,766 77	1,051 78	30,818 55	1 289

	…-D'ŒUVRE PAR ATELIER.			RÉSUMÉ.					
	AJUSTAGE.	CHAUDRONN.	MENUISERIE.	MATIÈRES.	MAIN-D'ŒUVRE.	TOTAL.	FRAIS GÉNÉR. de 50 % de la m.-d'œuv.	TOTAL GÉNÉRAL.	PRIX DU KILO ouvré.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	947 97	3 25	Mod. 153 90	2,318 82	1,322 83	3,641 65	661 41	4,303 06	2 178
0	1,115 07	»	d° 202 40	1,887 09	1,348 77	3,235 86	674 38	3,910 24	2 855
5	767 37	»	»	356 06	835 42	1,191 48	417 71	1,609 19	3 75
8	221 51	»	»	252 66	388 89	641 55	194 44	835 99	2 24
0	261 69	1 50	d° 49 58	1,044 53	771 97	1,816 50	385 98	2,202 48	2 345
5	148 15	»	»	321 80	152 20	474 »	76 10	550 10	1 575
0	400 67	»	»	172 96	513 37	686 33	256 68	943 01	6 755
8	265 09	»	d° 47 75	322 61	482 02	804 63	241 01	1,045 64	1 818
5	2,025 64	4 68	d° 210 20	3,829 86	2,263 85	6,093 71	1,131 93	7,225 64	0 985
	»	»	»	458 »	»	458 »	»	458 »	»
	»	»	»	48 70	»	48 70	»	48 70	»
1	305 11	11 48	d° 83 28	659 89	550 78	1,210 67	275 39	1,486 06	1 369
2	182 19	»	»	117 78	356 21	473 99	178 10	652 09	2 965
0	704 09	»	»	485 68	1,110 99	1,596 67	555 49	2,152 16	2 455
5	534 63	»	»	288 53	774 08	1,062 61	387 04	1,449 65	2 576
0	1,567 68	»	»	1,884 64	1,837 78	3,722 42	918 89	4,641 31	4 514
	»	»	»	55 »	»	55 »	»	55 »	
8	1,421 26	»	»	319 22	1,535 64	1,854 86	767 82	2,622 68	9 991
0	387 67	»	»	186 45	607 47	793 92	303 73	1,097 65	5 065
5	1,090 92	»	»	2,047 89	1,097 67	3,145 56	548 84	3,694 40	6 115
5	469 99 244 65	»	»	303 14	825 07	1,128 21	412 54	1,540 75	3 423
25	36 36	»	»	93 12	198 59	291 71	99 29	391 »	2 175
0	18 50	»	»	86 08	116 »	202 08	58 »	260 08	1 340
3	6 50	»	»	156 97	146 93	303 90	73 46	377 36	1 500
»	716 » 244 65	»	»	851 37	1,560 63	2,412 »	780 32	3,192 32	4 453
70	265 25	10 15	»	100 52	404 08	504 60	202 04	706 64	6 358
36	1,131 74	»	»	732 52	1,358 »	2,090 52	679 »	2,769 52	3 850
58	2,310 15	»	»	1,923 07	3,042 73	4,965 80	1,521 36	6,487 16	5 942
30	77 70	1 60	»	95 46	99 10	194 56	49 55	244 11	1 550
56	394 65	»	»	883 20	623 19	1,506 39	311 59	1,817 98	1 521
92	18,100 77	32 46	Mod. 747 11	22,263 62	24,254 26	46,587 88	12,162 09	58,749 97	2 550
10	767 37	»	42 »	5,606 25	4,384 47	9,990 72	2,192 24	12,182 96	
45	290 54	»	»	7,074 08	923 99	7,998 07	461 99	8,460 06	1 093
73	274 44	»	»	483 52	281 19	764 71	140 59	905 30	
39	284 20	»	»	3,449 60	460 59	3,910 19	230 29	4,140 48	1 470
04	1,219 25	»	»	9,145 80	1,329 27	10,475 07	664 64	11,139 71	3 107
73	2,835 78	»	42 »	25,759 25	7,379 51	33,138 76	3,689 75	36,828 51	1 375

STI…

S A…

…OLES.		RÉSUMÉ. MATIÈRES.	MAIN-D'OEUVRE.	TOTAL.	FRAIS GÉNÉR. de 50 % de la m.-d'œuv.	TOTAL GÉNÉRAL.	PRIX DU KILO ouvré.
	k.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
5 [illegible]	»	216 81	136 18	353 02	68 09	421 11	1 879
20 »	»	3,839 29	2,558 76	6,398 05	1,279 38	7,677 43	1 398
10 »	»	1,955 23	1,117 97	3,073 20	558 98	3,632 18	1 842
60	»	1,203 26	2,634 50	3,837 77	1,317 26	5,155 05	1 9[illegible]2
	»	400 25	380 49	780 74	190 25	970 99	1 107
	»	220 80	277 48	498 28	138 74	637 02	1 268
	»	123 83	105 93	229 76	52 96	282 72	1 290
	»	1,613 51	1,450 32	3,063 83	725 16	3,788 99	1 128
	»	470 51	1,119 30	1,589 81	559 65	2,149 46	2 084
	»	193 47	163 50	356 97	81 75	438 72	1 249
	»	3,712 50	»	3,712 50	»	3,712 50	1 800
	»	13,949 49	9,944 44	23,893 93	4,972 22	28,866 15	1,592
	»	580 64	359 48	940 12	179 74	1,719 86	5 240
	»	1,025 32	462 64	1,487 96	231 32	1,719 28	5 425
	»	82 80	125 90	208 70	62 95	271 65	1 626
	»	243 90	205 04	448 94	102 52	551 46	2 664
	»	105 14	180 80	285 94	90 40	376 34	2 160
	»	11 33	19 88	31 21	9 94	41 15	8 572
	»	140 40	27 23	167 63	13 62	181 25	3 485
	»	33 32	36 60	69 92	18 30	88 22	8 911
	»	4 25	2 80	7 05	1 40	8 45	4 970
	»	29 32	4 90	34 32	2 45	36 77	3 650
	»	168 85	145 91	314 76	72 95	387 71	6 233
	»	171 09	106 »	277 09	53 »	330 09	5 473
	»	285 95	272 52	558 47	136 26	694 73	3 666
	»	183 13	172 18	355 31	86 09	441 40	9 195
	»	27 81	122 17	149 98	61 09	211 07	6 050
	»	25 95	84 37	110 32	42 18	152 50	2 824
	»	170 »	»	170 »	»	170 »	»
	»	150 »	»	150 »	»	150 »	»
	»	300 »	»	300 »	»	700 »	»
	»	100 »	»	100 »	»	100 »	»
	»	140 »	»	140 »	»	140 »	»
	»	340 »	»	340 »	»	340 »	»
	»	32 50	»	32 50	»	32 50	»
	»	95 »	»	95 »	»	95 »	»
	»	42 »	»	42 »	»	42 »	»
	»	4,488 70	2,328 42	6,817 12	1,164 21	7,981 33	2,682

par M. C. Polonceau, pour les cinq machines à marchandises qu'il a fait construire dans les ateliers d'Ivry et qui figurent sous le n° 14 du tableau général des dimensions des machines. Les frais généraux sont calculés à raison de 50 p. 0/0 de la main-d'œuvre spéciale dont il a pu être tenu attachement; ils sont destinés à couvrir les frais de direction, de surveillance et de bureau des ateliers, l'éclairage, le nettoyage, la main-d'œuvre des manœuvres, l'entretien de l'outillage, le loyer et l'entretien des bâtiments.

Le tableau s'applique à l'ensemble des cinq machines construites en même temps; nous l'avons reproduit tel qu'il figure sur les livres de comptabilité; il suffira de diviser par 5 les nombres compris dans chaque colonne pour établir le prix de revient d'une machine.

§ 6. — Comptabilité.

L'organisation d'une bonne comptabilité est plus importante pour un atelier de chemin de fer que pour tout autre; elle n'est pas seulement rendue nécessaire par la nature même des sociétés industrielles qui exploitent les chemins de fer, elle est indispensable pour arriver à la plus grande économie possible dans l'exécution des travaux et pour guider les ingénieurs préposés à la direction du service, dans la recherche des dispositions mécaniques qui donnent lieu à la moindre somme de frais d'exploitation. On doit surtout apporter un soin particulier à contrôler l'emploi des matières qui, appliquées à des travaux de réparations, peuvent donner lieu à un gaspillage considérable. La direction du service de la comptabilité et du magasin doivent être l'objet des préoccupations constantes de l'ingénieur du matériel.

La comptabilité des ateliers a un double objet: le compte rendu des dépenses et l'établissement des prix de revient; cette dernière partie est un intermédiaire indispensable pour l'affectation des dépenses aux divers services qui empruntent le concours des ateliers, et pour la répartition des sommes dépensées entre le capital de premier établissement et les frais d'exploitation. Les prix de revient

sont indispensables pour l'appréciation de toutes les questions d'art; l'exemple que nous avons cité pour le travail des roues en est la meilleure preuve; c'est ainsi qu'on a pu se rendre un compte exact de l'avantage qu'il y avait à augmenter l'épaisseur des bandages pour arriver à l'économie des frais d'entretien rapportés au kilomètre parcouru. La détermination des prix de revient est encore utile pour la préparation des devis de constructions neuves ou de modifications, pour la commande des pièces à l'extérieur; elle permet surtout de suivre l'effet des différentes méthodes essayées pour l'organisation du travail intérieur des ateliers, de suivre les progrès de chaque division de l'atelier, et en quelque sorte de chaque ouvrier.

La comptabilité du service de la traction est plus simple; elle exige néanmoins assez de détails. Il faut en effet que la répartition des matières consommées soit faite, jour par jour, machine par machine, mécanicien par mécanicien, pour que l'on puisse apprécier, au point de vue de l'économie du service effectué, le mérite comparatif des différents types de machines, des diverses sortes de matières consommées et de différents chefs de dépôt et mécaniciens. On établit en quelque sorte le prix de revient du kilomètre parcouru par jour et par machine; cette répartition de la dépense, constatée chaque jour, est du reste nécessaire pour la fixation des primes de coke, d'huile, d'entretien, d'exactitude, etc.

La justification des dépenses de toute nature se fait par les factures acquittées des fournisseurs qui ont livré des matières au magasin, par les mémoires acquittés des constructeurs qui ont fourni des pièces fabriquées, des entrepreneurs de toute nature qui ont travaillé pour l'atelier, et par les rôles d'appointements et de salaires émargés par les parties prenantes, par les inventaires semestriels ou annuels qui contrôlent les sorties du magasin. La justification des sorties du magasin doit être complétée par les bons de commande, signés par les chefs des services qui viennent y puiser leurs matières de consommation et par les reçus des objets livrés.

L'utilité des dépenses effectuées dans les ateliers se justifie par les bons de commande de l'ingénieur du matériel ou des chefs des

divers services et par les reçus qui constatent, les uns et les autres, la nature et la quantité des travaux effectués; les chefs d'ateliers ne peuvent pas disposer arbitrairement des matières mises à leur disposition et de la main-d'œuvre de leurs ouvriers, pour exécuter des travaux de fantaisie; l'examen des prix de revient permet d'apprécier si chacun des travaux qui leur ont été confiés a été exécuté avec une économie convenable.

L'établissement des prix de revient fournit un moyen de contrôle qui manque à la comptabilité administrative; celle des ateliers de chemins de fer présente les mêmes garanties que celle de l'État pour la sincérité des payements effectués; le poids des matières fournies aux magasins et leur qualité, sont contrôlés par les agents des services qui en font l'emploi, le prix de ces matières, lorsqu'il s'agit de fournitures importantes, est débattu par l'ingénieur du matériel, qui met en concurrence les fournisseurs ou entrepreneurs, il est ensuite arrêté par le conseil d'administration de la Compagnie et, en dernier ressort, contrôlé par les commissions de comptabilité nommées par les assemblées générales, qui ne s'attachent pas seulement à la régularité de la forme des écritures, mais qui étendent leurs investigations au contrôle de la quantité et de la nature des fournitures et à l'utilité des travaux exécutés; il en résulte déjà des garanties au moins égales à celles que donne le système des adjudications, sans les inconvénients de toute nature que celui-ci entraine. Dans l'exécution des travaux par l'État, le contrôle spontané qui résulte de la multiplicité des signatures qui concourent à la justification des dépenses, donne uniquement des garanties pour leur réalité et leur régularité, mais la question du prix de revient et la comparaison des dépenses réalisées avec l'utilité intrinsèque des travaux exécutés sont laissées complétement de côté. Dans un atelier de chemin de fer, on se rend un compte exact de ce que coûte la construction d'une machine locomotive d'un système donné, de ce que coûtent son entretien, sa consommation de matières de toute nature, le personnel qui en fait le service; on compare les prix de construction avec ceux de l'industrie privée,

les dépenses de service avec celles des autres chemins, et sous peine de mauvaise gestion, on est obligé de marcher de progrès en progrès pour l'économie des dépenses et l'amélioration du service. La même chose n'a pas lieu dans les ateliers de l'État, où la forme de comptabilité l'emporte toujours sur le fond; on ne sait pas exactement, par exemple, ce que coûte la construction d'un bateau à vapeur construit à Indret ou à Rochefort, et encore moins la dépense qu'occasionne son service pour chaque unité de parcours effectué. On ne peut pas retrouver là ces éléments d'émulation qui, depuis dix années, ont réduit de plus de 50 p. 0/0 la dépense de locomotion dans l'industrie des chemins de fer.

La digression qui précède a pour objet de démontrer la nécessité de l'établissement des prix de revient, que quelques personnes pourraient considérer comme une superfétation; elle démontrera une fois de plus, combien il serait nécessaire qu'un mode uniforme dans la comptabilité des dépenses fût adopté par toutes les Compagnies.

Nous avons déjà indiqué la nécessité d'établir un système de bons de commande, de factures et de reçus de livraison, comme moyen de contrôle de la réalité des fournitures faites par les magasins ou par les fournisseurs aux ateliers, et de l'utilité des travaux qu'ils exécutent: ces pièces sont toutes extraites de registres à souche qui permettent aux différents agents comptables qui les échangent, de se mettre d'accord à la fin de la journée, de la quinzaine ou du mois; en y inscrivant, en regard de la quantité, le prix des objets livrés, on en fait l'un des éléments principaux du calcul des prix de revient. En même temps, on tient avec soin des attachements de l'emploi du temps des ouvriers, sur des rôles qui, en regard du nom de chaque ouvrier, indiquent le montant de son salaire, et la répartition des *tiers* ou des *heures* dont se compose sa journée entre les divers travaux auxquels il a pu participer.

S'il s'agit, par exemple, de réparer un tender brisé dans un accident, et d'ailleurs arrivé à l'état de grande réparation, l'ingénieur du matériel donne l'ordre d'exécuter la réparation, qui prend la forme d'un bon de commande adressé au chef des ateliers; ce-

lui-ci examine la nature des réparations à faire et leur répartition entre les divers ateliers partiels ; pour chaque catégorie de travaux il donne un bon de commande partiel : par exemple, pour l'atelier des roues, pour la forge, pour l'ajustage, pour le montage et pour la peinture ; chaque contre-maître se fait délivrer par le magasin les matières brutes ou fabriquées dont il a besoin, avec une facture indiquant les prix de chaque objet ; lorsque le travail qui lui est confié est terminé, le comptable spécial dont il est assisté dresse une facture qui indique la quantité et le prix des matières brutes ou des pièces fabriquées fournies par le magasin, le montant des salaires des ouvriers pour le temps qu'ils ont employé à l'exécution des travaux commandés ou reconnus nécessaires et autorisés en cours d'exécution, la quantité et le prix du combustible consommé, et enfin la quantité et le prix des vieilles matières à livrer au magasin chargé de leur conservation. Lorsque le travail de réparation est terminé, le chef des ateliers en donne avis à l'ingénieur du matériel, en lui transmettant une facture récapitulative de toutes les dépenses afférentes à ce travail, et le tender est remis à la disposition du chef de la traction. Lorsqu'il s'agit de travaux exécutés à marchandage par des ouvriers isolés ou par des groupes d'ouvriers, l'opération devient plus simple ; cependant, on tient compte encore de l'emploi du temps des ouvriers, dans le but même d'étudier incessamment les conditions des marchés passés avec les ouvriers.

On ne peut répartir entre les différents travaux d'un atelier que la main-d'œuvre spéciale des ouvriers d'art ; on répartit en bloc, au moyen d'une règle générale, et par l'application d'un coefficient déterminé à l'avance, et dont on rectifie la valeur au fur et à mesure que l'expérience permet de mieux apprécier les conditions du travail, les frais généraux qui comprennent la main-d'œuvre des hommes d'équipe employés aux manœuvres intérieures, le salaire des surveillants, les dépenses de la force motrice, l'éclairage, la réparation des machines-outils et des engins de toute nature, le traitement des ingénieurs, chefs d'ateliers, contre-maîtres, employés de bureaux, dessinateurs, comptables, et, s'il y a lieu, les frais de loyer des ateliers, les frais d'entretien des bâtiments, etc. Les frais généraux

peuvent être appliqués, soit en bloc par un seul chiffre, soit à deux degrés pour chaque atelier partiel, à raison des dépenses qui lui sont propres, et pour l'ensemble des ateliers, à raison des dépenses générales qui ne sauraient être réparties. On peut appliquer le coefficient des frais généraux, soit à la totalité des dépenses réparties, soit seulement à l'un des éléments de dépense, à la main-d'œuvre des ouvriers spéciaux, par exemple; enfin, ce coefficient peut varier d'un atelier spécial à un autre, lorsqu'on fait partiellement l'application des frais généraux. Dans l'exemple que nous avons cité, page 488, on compte pour frais généraux 50 p. 0/0 de la main-d'œuvre constatée par les attachements. On arrive promptement à n'avoir, à la fin de chaque année, qu'une différence très-faible entre le montant total des dépenses constatées par les prix de revient, et celle qui résulte de la comptabilité directe; on la passe au compte des profits et pertes.

Dans le service de la traction, on doit avoir soin de porter au compte de chaque machine la main-d'œuvre des ouvriers qui travaillent aux réparations courantes, et les matières ou objets fabriqués qu'on y applique. Le coke est chargé sur les tenders au moyen de sacs ou de paniers d'une capacité connue, et dont on vérifie fréquemment le poids; il est compté à chaque machine; les matières distribuées dans les magasins des dépôts, telles que huile, suif, graisse, chiffons, etc., sont également appliquées en sortie au numéro de chaque machine, et on a tous les éléments nécessaires pour établir le prix de revient du service effectué, pour chaque catégorie de machines et pour chaque machine isolément.

Nous nous sommes proposé seulement d'indiquer les principes généraux de la comptabilité des ateliers de chemins de fer; les détails d'exécution varient d'un chemin à l'autre; leur énumération et la reproduction des formules adoptées par chaque Compagnie pour la comptabilité nous entraînerait au delà des bornes de notre programme, qui ne comporte que des généralités pour tout ce qui n'est pas la description de la machine locomotive.

Nous nous contenterons d'indiquer succinctement, comme exemple, le système récemment adopté dans les ateliers des che-

mins de fer de Saint-Germain et de Versailles (R. D.), pour la constatation du temps employé par chaque ouvrier aux divers travaux et la répartition de la main-d'œuvre dans les prix de revient.

Le teneur d'attachement, habituellement employé, est supprimé, et la présence des ouvriers dans l'atelier est constatée de la manière suivante :

Chaque ouvrier, en entrant, reçoit du surveillant, devant le guichet duquel il est obligé de passer, un jeton portant son nom et son numéro d'ordre ; à chaque sortie, soit pour les repas, soit pour la fin de la journée, il rend son jeton. Le surveillant a donc, pendant les heures de travail, le moyen de constater quels sont les ouvriers présents par les jetons qui lui manquent et les ouvriers absents par les jetons qui lui restent.

Pendant les repas, il peut contrôler les ouvriers qui étaient présents par les jetons qu'on lui a remis, et les ouvriers absents par les jetons qu'on ne lui a pas remis et qui lui restent.

Il y a là, comme on le voit, une constatation complète de la présence des ouvriers à chaque *tiers ;* elle est de plus facile, pratique, et se contrôle d'elle-même.

Deux ou trois minutes suffisent pour délivrer aux ouvriers, à chaque rentrée, leurs jetons respectifs.

Les résultats de ces constatations sont consignés immédiatement en chiffres indiquant le nombre d'heures de chaque séance sur une feuille imprimée, et disposée de telle façon, qu'au bout de la quinzaine il n'y ait qu'à faire les additions, appliquer, dans une colonne en regard, les salaires respectifs, pour obtenir ainsi du premier coup, une feuille de paye qui exigeait avant près de deux journées pour être établie.

Passons maintenant à l'exécution des travaux.

Bons de travail. — Aucun travail, de quelque nature qu'il soit, important, faible, accidentel ou régulier, n'est confié à un ouvrier, ou à plusieurs ouvriers formant une équipe, sans qu'il ne leur soit délivré, par le contre-maître que ce travail concerne, un *bon de travail*, sur lequel sont consignés succinctement le travail à

exécuter, avec les indications qui lui sont relatives, le compte dans lequel il doit figurer à la comptabilité, et enfin le nom ou les noms des ouvriers qui l'exécuteront.

Ce bon est signé du contre-maître et daté; il porte de plus un numéro d'ordre relatif à la commande générale de l'ingénieur, qui a motivé sa création de la part du contre-maître.

Ce bon est enfin détaché d'un cahier à souche, sur lequel sont portés succinctement les mêmes numéros et les mêmes indications.

Bordereaux de l'application du temps aux bons de travail. — Etablissement du prix de revient. —Les ouvriers doivent inscrire eux-mêmes leur temps par tiers sur une feuille, ou bordereau *ad hoc*, qui leur est distribuée à chaque quinzaine; ils inscrivent également la somme du temps passé par eux à chaque travail sur le dos du bon délivré pour ce travail et en face de leur nom.

Ils ont soin en outre d'inscrire le poids brut et le poids net de la matière employée. Quand le travail est terminé, les ouvriers, en se présentant au contre-maître pour faire examiner et agréér leur travail, lui rendent en même temps les bons où ils ont eu soin de mettre toutes les indications précédentes; le contre-maître vise le bon et le remet au comptable, qui n'a plus, comme on le voit, pour établir le prix de revient, qu'à appliquer les prix connus par lui de la main-d'œuvre et de la matière, ajouter le chiffre proportionnel des frais généraux et faire l'addition sur le bon même, qui devient dès lors la minute du prix de revient et une veritable pièce de comptabilité à conserver. Ce prix est alors passé aux écritures comme dans l'ancienne méthode.

On aperçoit immédiatement combien cette marche est simple, rapide, exempte des chances d'erreurs ou d'oublis et des incertitudes que nous avons signalées plus haut.

Contrôle des indications relatives au temps, écrites par les ouvriers. — Nous avons dit que l'ouvrier inscrivait par tiers son temps sur une feuille de quinzaine ou bordereau qui lui était délivré à cet usage. Sur cette feuille sont indiqués, également par l'ouvrier, en regard des totaux partiels, les numéros des bons auxquels ce temps a été employé.

La comparaison du temps inscrit sur les bons avec les temps indiqués sur ces bordereaux, et celui que fournit le contrôle de la présence au moyen des jetons, permet de vérifier, très-rapidement et à coup sûr, si les ouvriers n'ont pas commis d'erreur. En effet, ils ne peuvent guère se tromper sur les chiffres de temps attribués à chaque bon de travail; ils n'ont d'ailleurs aucun intérêt à cela. L'erreur n'est possible que dans les additions, et celles-ci doivent fournir, en fin de compte, un chiffre égal à la somme des temps inscrits sur les bons, et égal aussi au temps de présence constaté par le contrôle des jetons. On a donc un double moyen de vérification; un employé consacre, une ou deux fois par semaine, une demi-journée à chaque vérification.

Avantages résultant de la nouvelle méthode. — Nous avons décrit le mécanisme de cette nouvelle installation. Voici maintenant quels sont ses avantages :

Les bons de travail forcent les contre-maîtres à donner des ordres écrits, par suite il y a moins d'oublis, moins d'erreurs possibles.

La seule inspection du livre à souche suffit pour savoir la nature des travaux exécutés et les noms des ouvriers qui en sont chargés.

Si l'on veut entrer plus avant dans la surveillance, on peut en parcourant l'atelier, examiner l'état d'avancement des travaux et leur comparer le temps passé inscrit sur les bons ou les bordereaux; on sent immédiatement combien cette surveillance facile à tous les instants, tient en éveil ouvriers et contre-maitres.

L'ouvrier ayant toujours sous les yeux le temps qu'il a employé à exécuter le travail qui lui est confié, y trouve une excitation continuelle à ne pas se ralentir dans sa besogne, pour pouvoir présenter au contre-maitre, en lui remettant le travail et le bon qui y est relatif, la preuve qu'il gagne bien son salaire et qu'il ne se laisse pas dépasser par ses camarades. Il y a donc entre eux une émulation continuelle et, pour les contre-maitres, un moyen permanent et mathématique d'apprécier la valeur relative des ouvriers; d'où il résulte, pour ceux-ci, la nécessité de faire constamment des efforts

pour faire mieux et en moins de temps le travail qui leur est confié.

Nous ne saurions trop insister sur les avantages de toute nature, moraux et matériels, qui se sont produits par ce fait d'avoir rendu ainsi l'ouvrier son propre comptable, et d'avoir mis sous ses yeux ce qu'il coûte et ce qu'il produit. Il en est résulté pour lui des habitudes d'ordre et de travail très-précieux, et pour la Compagnie une augmentation de travail utile, qui s'est traduite par une amélioration notable dans les prix de revient.

LIVRE VII.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCE.

Nous nous sommes proposé, dans cette partie de notre travail, de réunir des renseignements numériques sur les éléments qui constituent la dépense de locomotion dans l'exploitation d'un chemin de fer, sur les éléments du travail moteur et résistant des machines. Pour cette dernière partie, nous avons eu plusieurs fois le regret d'exprimer, dans le cours de notre travail, l'absence de données expérimentales, propres à éclairer les constructeurs sur l'utilité de certaines dispositions ; nous exprimerons encore ici le même regret de ne pouvoir offrir à nos lecteurs qu'un nombre assez restreint de résultats d'expériences sur la production de la vapeur, sur son travail dans les cylindres, sur les résistances au mouvement. Nous avons emprunté plus spécialement les renseignements relatifs à cette dernière partie, aux *Recherches expérimentales sur les machines locomotives* de MM. Gouin et Le Chatelier, au travail de M. Gooch, ingénieur du Great-Western, consigné dans l'enquête parlementaire sur *les communications par chemins de fer entre Londres et Birmingham* (1848), et aux expériences encore inédites que M. Bertera, ingénieur des mines, a commencées récemment sur le chemin de fer de Paris à Orléans, avec le concours de M. C. Polonceau, entrepreneur du service de la traction. Nous avons en outre recueilli les faits isolés qui nous ont paru mériter quelque intérêt.

§ 1er. — Parcours des machines.

Il importe, pour éviter l'emploi d'un capital trop considérable, d'arriver à obtenir annuellement, et de chaque machine en particulier, le plus grand parcours possible ; il importe en outre de

connaître, lorsqu'on veut se rendre compte *à priori* du nombre de machines nécessaires pour l'exploitation d'un chemin de fer déterminé, d'apprécier le parcours moyen qu'on peut obtenir d'une machine. Nous avons donc cherché à réunir, pour l'année 1849 ou 1848, à défaut de renseignements plus récents, les faits constatés sur divers chemins. Les résultats sont réunis dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION des CHEMINS DE FER.	ANNÉES.	NOMBRE des MACHINES en service.	PARCOURS MOYEN ANNUEL DES MACHINES		
			à Voyageurs.	à Marchandises.	Ensemble.
Nord	1849	196	19,600	13,300	17,300
Chemins belges	1848	160	»	»	22,400
Saint-Germain et Versailles (rive droite)	1849	32	13,878	»	13,878
Paris à Orléans	1849	75	14,952	20,570	16.900
Rouen et Havre	1849	78	20,524	24,316	21,883
Orléans à Bordeaux	1849-50	31	»	»	21,817
Strasbourg à Bâle	1849	29	»	»	16,093

Le parcours moyen des machines varie nécessairement d'un chemin de fer à l'autre, en raison de la nature et de la variété du service, des coupures déterminées par les distances qui existent entre les stations principales, en raison du mode adopté pour les réparations, ou de l'importance relative des travaux exécutés dans les ateliers proprement dits et dans les dépôts par les mécaniciens eux-mêmes. Cette partie du service tend à s'améliorer d'une manière notable, et elle se ressentira des perfectionnements apportés récemment aux différentes parties de la locomotion par la qualité du coke, la stabilité des machines, la qualité des bandages, etc. On arrive, du reste, au fur et à mesure que le personnel de conduite et d'entretien acquiert plus d'habileté et que le matériel s'améliore, à effectuer des parcours plus considérables. On ne craint pas maintenant, dans quelques cas, de faire parcourir aux machines, sans autre temps de repos que l'arrêt aux stations, 150, 200 et même 230 kilomètres, tandis qu'il y a quelques années à

peine l'étendue de chaque parcours semblait devoir être limitée à 120 kilomètres.

Un des moyens employés pour arriver à augmenter l'effet utile du matériel, consiste à donner des primes aux mécaniciens, pour les intéresser à maintenir les machines en service le plus longtemps possible, sans les faire entrer en réparation. Un exemple de primes de cette nature est celui que fournissent les chemins de fer d'Orléans et du Centre, où M. Polonceau l'a établi avec succès, afin d'en rendre l'entretien plus économique et de réduire l'importance du matériel nécessaire à l'exploitation et du capital qu'il représente.

Le but de cette prime doit être atteint : 1° par les réparations faites au dépôt par les mécaniciens ; 2° par les réparations de petit entretien faites pendant la durée même du service. Les machines, suivant leur nature et leur mode spécial de construction ou leur état de conservation, sont divisées en quatre classes : la 1re et la 2e pour les machines à voyageurs, la 3e et la 4e pour les machines à marchandises. La prime n'est allouée qu'au delà d'un certain parcours et varie pour chaque classe, comme l'indique le tableau suivant :

	Classification des machines.		Parcours au delà duquel commence la prime.		Prime allouée pour 1,000 km de parcours au-dessus du minimum.
MACHINES à VOYAGEURS.	1re classe.	—	22,000 km	—	5 fr. 00 c.
	2e classe.	—	19,000	—	5 00
MACHINES à MARCHANDISES.	3e classe.	—	16,000	—	7 50
	4e classe.	—	13,000	—	7 50

La mise des roues sur le tour, pour la réparation des bandages, n'interrompt pas le cours de la prime, parce qu'elle est considérée comme indépendante du fait des mécaniciens. Toute machine rentrant aux ateliers par suite d'un accident quelle qu'en soit la cause, cesse de compter pour la prime et recommence à sa sortie une nouvelle série de parcours kilométriques.

Depuis l'application de ce système de primes et l'organisation complète des réparations, poussées aussi loin que possible par les

mécaniciens dans les dépôts, on est arrivé à des parcours qui excèdent 40,000 km, et on espère obtenir, pour certaines machines, des parcours plus considérables sans grandes réparations, autres que celle des roues, nécessitant la rentrée aux ateliers.

Sur quelques chemins de fer, les mécaniciens sont payés, soit intégralement, soit partiellement, en raison du parcours effectué chaque mois; mais ce système ne serait un encouragement au bon entretien des machines, pour leur maintien prolongé en état de service, qu'autant que les petites et moyennes réparations seraient faites par les mécaniciens, assujettis à travailler au dépôt pendant toute la durée de ces réparations.

Il serait intéressant de se rendre compte du parcours total qu'une machine peut effectuer avant d'être mise entièrement hors de service; mais la plupart des machines qui se trouvent dans ce cas ont cessé d'être employées, parce qu'elles ne répondaient plus, par leurs dimensions et leur mode de construction, aux besoins du service actuel. Quelques personnes pensent même qu'on ne saurait assigner d'autre limite de durée aux machines que l'on construit maintenant avec une grande solidité, que celle qui pourra être tôt ou tard déterminée par les progrès de la locomotion, les réparations successives qu'elles reçoivent devant avoir pour résultat leur restauration permanente. La limite de 300,000 km que nous avons adoptée précédemment, pour fixer les idées, peut être considérée comme une limite inférieure résultant de l'ensemble de ces différentes causes, usure et insuffisance pour le service de l'exploitation. Nous rapporterons, néanmoins, quelques exemples empruntés aux chemins de fer qui s'exploitent sous nos yeux.

L'administration des chemins de fer belges emploie encore les machines construites de 1835 à 1840; un certain nombre d'entre elles avaient dépassé, au 31 décembre 1848, la limite de 200,000 km, et deux avaient atteint le chiffre de 231,000 km; une machine livrée par la *Société du Renard*, le 6 juin 1840, avait atteint le parcours de 216,515 km.

La Compagnie du chemin de fer de Saint-Germain maintient en service, en les modifiant successivement, des machines construites

en 1837 ; quelques-unes de ces machines ont effectué des parcours de 230,000 km.

Les modifications que subissent ces machines consistent principalement dans l'application des appareils dont l'invention est postérieure à l'année 1839, et qui ont pour but d'assurer la régularité du service et l'économie du combustible, telles que la détente fixe, l'appareil de détente variable à coulisse, l'échappement variable à mouvement extérieur, la porte du cendrier, le registre à air, la cheminée à base évasée et enfin dans les organes du mécanisme les améliorations introduites dans les machines nouvellement construites et dont l'application aux machines d'ancienne construction est généralement facile.

Sur le chemin de fer de Rouen, les machines construites en 1843 sont encore en très-bon état de service ; au 31 décembre 1849, l'une d'elles avait effectué déjà un parcours de 200,000 km. Sur la ligne d'Orléans, des machines construites en 1843 et 1844, ayant effectué des parcours de 160,000 à 180,000 km, sont encore aujourd'hui en parfait état et ont encore une longue carrière à fournir.

§ 2. — Consommation et frais de traction.

1° Consommation de matières. — Les frais de locomotion entrent pour une portion très-importante dans les dépenses d'exploitation, et la consommation de matières, spécialement celle du coke, en forme l'élément le plus important ; on a donc dû s'appliquer depuis longtemps à restreindre celle-ci autant qu'il était possible de le faire sans nuire au service. L'augmentation de dimensions des chaudières, l'application de la détente, l'amélioration du combustible, l'application des primes d'économie, l'expérience plus complète du personnel, et, dans ces derniers temps, l'application des contre-poids, ont concouru à ce but ; le résultat a été tel que, depuis dix années, sur les chemins depuis longtemps exploités, la consommation a été réduite de près de moitié.

La consommation de coke varie d'une machine à l'autre ; elle varie également pour une même machine d'une saison ou même d'un jour à l'autre ; elle varie, du reste, avec la charge des trains ;

ce qu'il importe de connaître pour un chemin déterminé, c'est la consommation moyenne de l'année pour l'ensemble des machines. Cette consommation se compose de deux éléments qu'il est à peu près impossible de séparer : la consommation pendant la marche des convois et celle qui se produit inévitablement pendant le stationnement et pour l'allumage.

Il ne nous a pas été possible de réunir des renseignements exacts sur la consommation du combustible, rapportée au nombre total de kilomètres parcourus par les machines; il résulte des différences de systèmes dans la tenue de la comptabilité des matières, des anomalies dans la comparaison des chiffres de consommation de coke sur la plupart des chemins de fer. Pour quelques-uns les résultats qui nous ont été fournis étaient obtenus en divisant par le nombre total de kilomètres parcourus par les machines, les quantités vendues par les fournisseurs et livrées au service; pour les autres, ces résultats émanaient des registres de livraisons faites aux mécaniciens, laissant en dehors les déchets produits par les manutentions de tout genre.

Ces chiffres n'eussent pu d'ailleurs avoir pour objet d'établir une comparaison entre les différents chemins, car les circonstances propres à chacun, telles que le mode de construction des machines, le profil du chemin, la charge et la vitesse des trains, la longueur des parcours, le poids des véhicules et leur mode de construction, la nature du combustible, le climat, la durée relative du stationnement des machines en feu et du service en ligne, etc., sont autant d'éléments qui peuvent concourir à produire de grandes différences; nous n'aurions donc pu donner qu'une collection de résultats isolés et sans rapport entre eux; nous avons préféré nous abstenir.

Nous avons dit qu'il était à peu près impossible de séparer la consommation en marche des consommations acccessoires; cependant, en Belgique, on s'applique à faire ressortir séparément chacun des éléments de cette dépense; il y a certainement un peu d'arbitraire dans cette répartition, mais cet exemple n'est pas moins instructif. Le chiffre de consommation kilométrique de 1848, se partage ainsi :

1° Pour le parcours............	8kg. 25		......	8kg. 25
2° Pour le stationnement........	0 93	}		
3° Pour l'allumage.............	1 16	}	......	2 43
4° Pour le service.............	0 34	}		
Total.				10 68

Le rapport des consommations accessoires à la dépense totale est de 23 p. 0/0.

L'influence des différentes causes d'amélioration que nous avons signalées, et qui réduisent encore chaque jour la consommation du coke, deviennent bien manifestes lorsqu'on peut comparer les résultats obtenus successivement pendant une longue période d'exploitation ; sur les chemins de fer belges la consommation du coke est descendue, en neuf années, de 19 kil. à 10 kil. 68 :

Une réduction importante a été produite sur le chemin de fer d'Orléans par une meilleure organisation du service, lorsqu'il a été centralisé au lieu d'être partagé entre deux chefs de service indépendants, dont l'un était chargé de l'atelier de réparation et de l'achat du coke, l'autre de la traction proprement dite, par l'établissement d'un système de réparation permanente dans les dépôts, par l'amélioration de la qualité du combustible, par la mise hors de service des machines les plus anciennes et les plus dispendieuses pour la consommation de coke, par d'importantes modifications apportées aux cylindres et à la distribution, par l'établissement sur une large échelle des primes d'économie et d'entretien et par l'amélioration des conditions de stabilité des machines. En préparant la réorganisation du service, on avait compté sur une réduction de consommation qui a été dépassée et qui n'est sans doute pas encore arrivée à sa dernière limite. Nous avons déjà signalé une cause de dépense, qui pourra être encore réduite, lorsque l'attention des constructeurs et des ingénieurs sera suffisamment fixée sur ce point : c'est celle qui résulte de l'entraînement de l'eau qui est considérable dans la plupart des machines.

Sur le chemin de fer du Nord dont le profil est très-accidenté

où la vitesse et la charge des trains dépassent ce qui existe sur les autres chemins, la consommation du coke se réduit progressivement sous l'influence de mesures analogues.

En Belgique, sur le chemin de fer du Nord et sur les chemins d'Orléans et du Centre, la prime allouée aux mécaniciens et aux chefs de dépôt, représente environ 30 p. 0/0 de l'économie obtenue en argent.

Sur le chemin d'Orléans, afin d'éviter les retards qui résulteraient d'une économie exagérée pendant la marche, on ne paye pas la prime aux mécaniciens pour les convois en retard, et, en outre, 1/5e des amendes infligées à l'entreprise pour les retards au delà de 15 minutes leur est attribué. Sur le chemin de fer du Nord, pour obtenir le même résultat, on combine avec la prime d'économie une prime d'exactitude pour les trains qui arrivent, à cinq minutes près, à l'heure fixée, et une retenue de 0 fr. 20 par minute pour tout retard au delà de cinq minutes; la prime d'exactitude allouée au mécanicien est de 0 fr. 02 par kilomètre parcouru pour les trains de voyageurs, de 0 fr. 03 pour les trains de marchandises; elle est de moitié pour le chauffeur.

Sur le chemin de fer d'Orléans on alloue, en outre, à tout mécanicien qui franchit dans le temps prescrit la rampe d'Etampes, de 0m 008 par mètre sur 6 kilomètres, sans machine de renfort, une prime spéciale de 0 fr. 75.

Enfin, sur ces différents chemins, en outre de l'allocation de coke attribuée au parcours, des suppléments sont accordés pour l'allumage, le stationnement, la marche à vide. Ces allocations varient suivant la nature des machines et du service.

On peut suivre deux systèmes pour les primes d'économie : l'un qui consiste à donner en poids une allocation très-large et à n'attribuer au mécanicien qu'une fraction assez faible de l'économie obtenue; l'autre qui consiste à restreindre l'allocation dans des limites étroites et à abandonner au mécanicien 30 à 40 p. 0/0 de l'économie qu'il réalise. Chaque système a ses avantages et ses inconvénients qu'il faut apprécier dans chaque cas particulier. Le premier intéresse à l'économie tous les mécaniciens qui ont toujours une prime

à espérer ; il permet d'imposer des retenues quand les limites sont dépassées, et, de plus, il n'exige pas le remaniement fréquent des allocations, mais l'appât est moins grand pour les mécaniciens habiles ; le second peut laisser des mécaniciens sans perspective de primes jusqu'au remaniement de l'allocation et les rendre momentanément indifférents à l'économie.

La consommation de matières grasses pour lubréfier toutes les pièces de la machine, est également un des points sur lesquels on doit surtout fixer son attention dans l'organisation et la direction d'un service de traction, moins à cause de l'importance de cet article de dépense qu'à cause du *coulage* qui peut avoir lieu ; on alloue également aux mécaniciens des primes d'économie d'huile et de suif.

La consommation de matières lubréfiantes sur le chemin de fer du Nord s'est répartie de la manière suivante :

En 1849, en y comprenant la graisse nécessaire pour le tender :

	Huile. kg.	Suif. kg.	Graisse. kg.
Machines à voyageurs....	0 0082	0 0068	0 0071
Machines à marchandises.	0 0108	0 0066	0 0025
Moyenne....	0 0090	0 0067	0 0058

La prime est établie sur la valeur des matières; il est alloué 3 centimes pour frais de graissage par chaque kilomètre parcouru, en calculant la dépense sur les prix suivants :

	fr. c.	
Huile..........................	1 10	le kilogramme.
Suif...........................	1 10	—
Graisse jaune..................	0 60	—

La prime accordée est de 40 p. 0/0 de la valeur économisée.

Sur les chemins de fer d'Orléans et du Centre, le graissage des tenders n'est pas à la charge des mécaniciens qui ne consomment que de l'huile et du suif pour les machines; on leur alloue pour l'ensemble de ces deux matières 0 kg. 015 par kilomètre, le prix étant compté à 1 fr. 40, et la prime est fixée à 1/3 de l'économie.

La consommation s'est élevée, du 1er juillet 1849 au 30 juin 1850, pour l'ensemble des machines à voyageurs et à marchandises, par kilomètre parcouru :

Pour le chemin de fer d'Orléans, à..............	0	0142
— du Centre, à..............	0	0171

L'application du système de primes d'économie pour le combustible a eu lieu, pour la première fois, sur les chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), en août 1839; il était alloué alors comme aujourd'hui aux mécaniciens un tiers de la valeur du coke économisé.

2° Frais de traction. — On comprend, sous la dénomination de frais de traction, l'ensemble de toutes les dépenses relatives au service des machines, direction du service, personnel des mécaniciens et chauffeurs, personnel des dépôts, consommation de combustible, de graisse, d'eau, entretien et réparations des machines et tenders, etc. Pour comparer ces dépenses d'une année à l'autre sur un même chemin, ou d'un chemin à l'autre, on peut les rapporter à une unité commune, au parcours des machines; lorsqu'on veut au contraire les rapporter au parcours des convois, on établit le rapport existant entre ces deux sortes de parcours, qui diffèrent habituellement de 10 à 20 p. 0/0, la différence représentant le parcours des machines-pilotes, des machines envoyées isolément d'un dépôt à l'autre et des machines ajoutées comme renfort aux trains lourdement chargés. Nous rapporterons nos calculs au parcours des machines, en ayant soin de faire connaître dans quel rapport il se trouve avec le parcours des convois de toute nature.

Nous avons réuni, dans le tableau suivant, quelques nombres élémentaires qui peuvent servir de point de départ aux personnes qui veulent se rendre compte de la décomposition des dépenses d'exploitation des chemins de fer. Quoique réunis dans un même tableau, ces chiffres ne doivent pas être l'objet d'une comparaison, parce qu'ils sont affectés chacun par les conditions spéciales dans lesquelles chaque chemin de fer se trouve placé, par la nature du matériel, celle du service, le profil de la voie, le climat, la nature et le prix du coke, l'âge du matériel, etc.; par suite, nous avons pensé qu'il n'y avait pas même lieu d'en faire les totaux. Les coefficients inscrits au bas du tableau serviront de multiplicateurs pour passer aux prix rapportés au kilomètre parcouru par les convois.

NATURE des DÉPENSES.	STRASBOURG à Bâle. — 1846.	NORD. — 1849.	ORLÉANS — 1849.	CENTRE. — 1849.	ORLÉANS à Bordeaux. — 1849-50.	OBSERVATIONS.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	
Frais de régie ...	»	0,037	0,057	0,069	0,075 (a)	(a) Frais de régie et chefs de dépôt.
Personnel des dépôts..........	»	0,017	0,093	0,063		
Mécaniciens et chauffeurs.....	0,082	0,178	0,208	0,173	0,194 (b)	(b) Mécaniciens et manœuvres des dépôts.
Combustible.....	0,368	0,304	0,536	0,537	0,487	
Graissage et nettoyage (matièr.)	0,019	0,029	0,029	0,028	0,020	(c) Ces chiffres comprennent d'importants travaux pour la modification et la restauration du matériel.
Eau.............	0,016	0,026	0,025	0,025	0,020	
Consommations diverses et entret. de l'outillage..	»	0,014	0,048	0,026	0,095	
Entretien et rép. des machines et tenders........	0,384	0,375 (c)	0,517 (c)	0,628 (c)	0,388	
Rapport du parc. des machines au parcours des convois........	1.02	1.07	1.18	1.16	1.16	

On peut admettre, comme résultat moyen et par aperçu, pour le prix de revient normal de la traction à introduire dans des calculs généraux sur les chemins de fer français, le prix de 1 fr. 20 c. décomposé comme suit :

Frais de régie...........................	de	0f 05c	à 0f 06c
Personnel des dépôts......................		0 06	0 07
Mécaniciens et chauffeurs.................		0 18	0 20
Combustible...............................		0 40	0 50
Graissage et nettoyage....................		0 02	0 025
Eau.......................................		0 02	0 02
Dépenses diverses.........................		0 02	0 025
Entretien du matériel.....................		0 35	0 40
Totaux..........		1 10	à 1 30
Moyenne............		1 fr. 20 c.	

On peut également admettre, en moyenne, que le parcours des machines est de 10 p. 0/0 supérieur à celui des convois, ce qui porterait le prix du kilomètre parcouru par les convois, à 1 fr. 32 c. Ces moyennes ne sont, nous le répétons, qu'un aperçu, car nous n'avons pas même cherché à établir le rapport exact entre le parcours des trains de marchandises et celui des trains de voyageurs ; on peut admettre, toujours à titre d'aperçu, que le parcours des convois de marchandises est le tiers environ du parcours total des trains sur nos grandes lignes, et qu'il existe une différence d'environ 0,10 par kilomètre parcouru par les machines, entre les deux espèces de trains.

Les chiffres approximatifs que nous venons de comparer ne comprennent pas l'intérêt du capital dépensé pour l'achat du matériel, la construction des bâtiments, des ateliers et dépôts, l'achat de l'outillage, les dépenses d'entretien des bâtiments et enfin les assurances des bâtiments de l'outillage, du matériel roulant, les impositions, etc. ; l'introduction de ces éléments dans le prix de la traction le modifierait d'une manière notable.

3° Traités de traction. — Sur quelques chemins de fer, on a confié le service de la locomotion à un entrepreneur ou à un régisseur intéressé, qui reçoit de la Compagnie le matériel construit, les bâtiments nécessaires au service, l'outillage et les engins de toute nature pour l'installation des ateliers, et qui se charge, moyennant un prix fixé à forfait, de l'entretien et de la réparation du matériel roulant et de la traction des convois.

La convenance et l'utilité des arrangements de cette nature sont très-controversables, dans tous les cas il faut renoncer à traiter cette question comme une question de principe. Le succès d'une opération de ce genre, dépend uniquement de l'habileté et du caractère personnels de l'entrepreneur, et de la nature des rapports qui peuvent s'établir entre lui et la Compagnie qui lui a confié ses intérêts. En effet, si l'entrepreneur ne présentait pas toutes les garanties morales et pécuniaires nécessaires, s'il n'avait pas l'activité et l'esprit d'ordre indispensables pour assurer la régularité d'un ser-

vice semblable, s'il avait l'esprit tracassier et s'il était toujours prêt à faire de la moindre difficulté un procès, la Compagnie serait exposée à voir son matériel dépérir, son service se faire d'une manière irrégulière et nuisible aux intérêts de son trafic, et à voir surgir à chaque instant des contestations et des difficultés sérieuses. L'entrepreneur, de son côté, s'il avait affaire à une administration peu équitable et dirigée par des vues étroites, cherchant à restreindre l'autorité qu'elle aurait donnée d'abord, risquerait fort d'aboutir à une liquidation désastreuse. Les dangers résultent de la nature même du service, de l'impossibilité de prévoir à l'avance toutes les difficultés qui peuvent surgir en cours d'exploitation, de la continuité et de la multiplicité des rapports et des contacts qui s'établissent entre l'entrepreneur et la Compagnie, entre les agents de l'un et de l'autre. Ce serait, par exemple, une faute évidente que de mettre en adjudication une entreprise de traction, comme on le fait pour la construction d'un ouvrage d'art, ou pour la fourniture de matières dont la quantité et la qualité peuvent être vérifiées à chaque réception.

Un exemple des marchés de traction est le traité conclu entre M. Buddicom et les compagnies de Rouen et du Havre. Un premier traité, après avoir accompli la durée de sept années, a été renouvelé récemment pour une nouvelle période de douze années. Nous rappellerons succinctement les conditions de prix du premier traité, dont les détails sont connus de toutes les personnes qui s'occupent de l'exploitation des chemins de fer.

La Compagnie fournit à l'entrepreneur le matériel roulant, les terrains et locaux nécessaires pour ateliers et dépôts, les puits, pompes, tuyaux et réservoirs pour l'alimentation des machines, à charge d'entretien, mais sans intérêt du prix. L'entrepreneur fournit et entretient l'outillage des ateliers que la Compagnie doit reprendre, sur estimation, à la fin du traité.

L'entrepreneur est responsable des accidents occasionnés par sa faute ou par celle de ses agents.

Le prix alloué à l'entrepreneur pour remorquer les convois

de voyageurs est fixé ainsi qu'il suit, par kilomètre parcouru :

Pour un train de 12 voitures et au-dessous......	1 fr.	10 c.
Pour chaque voiture en sus, jusqu'à 16 inclusivement, 1/12 de ce prix, en sus, ci................	0	09
Au delà de 16 voitures, le prix est fixé à........	2	20

Pour les convois de marchandises les bases du prix sont les mêmes, mais le nombre des véhicules est augmenté :

Pour un train de 25 wagons portant 100 tonnes..	1	10
Pour chaque wagon en sus ou pour tout accroissement de poids proportionnel, jusqu'à 33 wagons ou la charge équivalente, inclusivement, 1/25, ci......	0	44
Au delà de 33 wagons......................	2	20

Lorsqu'un train comprend des wagons en retour à vide, sans que le nombre total excède 45, et pourvu que la charge partielle utile du convoi n'excède pas 100 tonnes, il n'est alloué aucun supplément.

En cas de retard excédant 15 minutes, et résultant du fait de l'entrepreneur, il lui est fait, à titre d'amende, une retenue qui varie suivant l'importance du retard, de 15 fr. au prix total de traction du train.

L'entrepreneur doit tenir compte à la Compagnie, à la fin du traité, de la dépréciation du matériel, résultant de l'usure produite par le service effectué et eu égard au service que les pièces peuvent encore effectuer. Il lui est retenu, à titre de garantie de cette dépréciation, 15 p. 0/0 de toutes les sommes qui lui sont payées par la Compagnie.

Au renouvellement de ce traité, le prix élémentaire a augmenté, la vitesse maxima qui était fixée à 40 km à l'heure pour les voyageurs a été également augmentée, et le taux de la retenue de garantie a été diminué.

La Compagnie du chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon a traité avec deux entrepreneurs distincts, avec l'un pour la traction

des convois de voyageurs entre Lyon et Saint-Etienne et des convois de marchandises et de houille entre Lyon et Rive-de-Gier, avec l'autre pour la remonte des wagons à houille et des convois de marchandises de Rive-de-Gier à Saint-Etienne. Le prix est fixé pour les voyageurs par wagon remorqué, et pour les marchandises par tonne utile ou par wagon vide, celui-ci comptant pour une tonne utile. La seconde entreprise est celle de M. Verpilleux, qui a été établie en vue de l'application de son système de machines, dont nous avons eu l'occasion de parler à plusieurs reprises ; une troisième entreprise est chargée de l'entretien des wagons.

§ 3. — Production et emploi de la vapeur.

1° EAU DÉPENSÉE. — Nous avons insisté à diverses reprises sur la question de l'entrainement de l'eau et de la condensation de la vapeur dans les cylindres ; nous avons cherché à recueillir quelques résultats d'expériences propres à jeter du jour sur cette question.

La dépense d'eau n'a que peu d'importance au point de vue du coût de la matière ; c'est deux centimes environ par kilomètre ; une économie de 1/4 à 1/3 ne représenterait qu'une somme totale assez faible dans les frais d'exploitation d'une grande ligne de chemin de fer ; l'inconvénient d'une dépense d'eau trop considérable est surtout l'augmentation de la dépense du combustible, soit parce qu'elle donne lieu à des condensations, soit parce qu'elle détermine des résistances à l'écoulement de la vapeur, et par suite des pertes de pression motrice et des accroissements de pression résistante.

Il a été impossible jusqu'ici d'établir une division entre les quantités d'eau perdues par entrainement mécanique et celles qui sont perdues par condensation de la vapeur dans les cylindres, mais comme il existe un rapport intime entre ces deux éléments, la condensation étant surtout le résultat de la présence de l'eau dans les cylindres, il est constant qu'en diminuant l'entraînement mécanique de l'eau, on contribuera doublement à diminuer la dépense d'eau totale.

On peut très-bien déterminer la quantité totale d'eau dépensée en jaugeant le tender et en plaçant sur le côté un tube indicateur

de niveau, sur lequel on relève le volume dépensé avant de prendre une nouvelle provision d'eau à chacun des réservoirs de la ligne; on tient compte également de la hauteur de l'eau dans la chaudière, au commencement et à la fin du voyage. Mais il est beaucoup plus difficile de se rendre compte de la portion de la dépense totale qui représente l'entraînement mécanique et la condensation; il faut pour cela, par une série d'expériences très-longues et très-délicates, en relevant un grand nombre de diagrammes au moyen de l'indicateur de Watt, déterminer quelle est la pression de la vapeur dans les cylindres en rapport avec la pression dans la chaudière et avec l'ouverture du régulateur, celle des lumières d'introduction avec la longueur de l'admission; si la machine est à détente, il faut déterminer dans l'atelier, pour chaque cran de la détente, la portion de la course pendant laquelle l'admission a lieu, et contrôler les mesures directes par quelques diagrammes relevés à très-petite vitesse, qui permettent d'apprécier si ces premières données ne sont pas modifiées par le jeu des pièces de la distribution et par l'effet de la pression considérable que la vapeur exerce sur le tiroir. On peut ainsi déterminer pour chaque position du régulateur lorsque la détente est fixe, et pour chaque cran de la détente lorsqu'elle est variable, le poids théorique de vapeur qui serait dépensée à chaque coup de piston, en supposant qu'elle soit simplement à saturation, sans eau liquide, et en supposant qu'aucune portion de la vapeur ne se condense sur les parois du cylindre; en relevant, à de fréquents intervalles, les éléments de l'admission, on peut déterminer approximativement le poids moyen de vapeur qui serait théoriquement dépensée pour chaque coup de piston, le poids total pour l'ensemble du voyage, et enfin comparer ce dernier avec la dépense d'eau réellement faite.

Ces déterminations n'ont été établies que dans un très-petit nombre de cas, et ne peuvent pas, du reste, être fréquemment répétées; nous enregistrerons donc avec soin les résultats constatés. Mais il est une expérience qu'il est facile de renouveler et qui peut, jusqu'à un certain point, permettre d'apprécier ce qui se passe dans une machine relativement à la quantité d'eau dépensée; elle con-

siste à mesurer, avec tout le soin possible, la dépense de coke effectuée pendant un long voyage, et à la comparer à l'eau dépensée, de manière à déterminer le poids d'eau dépensée pour un kilogramme de coke consommé. On trouve en général 9 à 10 kilogrammes d'eau, et si l'on remarque que dans les chaudières de machines fixes à combustion assez lente, lorsqu'on a pris toutes les précautions nécessaires pour ne laisser sortir de la chaudière que de la vapeur sèche, la quantité de vapeur produite par 1 kil. de houille de très-bonne qualité n'excède pas 6 kil. 1/2, on reconnait que la proportion d'eau entrainée ou condensée dans les cylindres doit être d'environ 30 à 40 p. 0/0, proportion qui reste encore au-dessous des résultats de l'expérience directe. Ce mode d'appréciation peut servir au moins pour comparer entre elles des machines placées dans des conditions semblables de surface de chauffe, de combustible et d'admission dans les cylindres, et surtout pour une même machine dans laquelle on veut déterminer l'effet de dispositions adoptées pour prévenir la déperdition de l'eau et de la vapeur.

Expériences de M. de Pambour. 1834. — M. de Pambour évalue à 24 p. 0/0 la quantité d'eau entrainée par la vapeur dans les machines sur lesquelles ont porté ses expériences. Cette moyenne est déduite de sept expériences qui ont donné les résultats suivants (page 324 de la 2e édition) :

Numéro des expériences.	Vitesse en marche.	Charge totale, machine et tender compris.	Rapport du poids théorique de vapeur à l'eau dépensée.
1	14 km, 5	195 tnes, 5	0 kg, 76
2	25 0	40 1	0 73
3	24 3	120 3	0 68
4	22 3	109 7	0 68
5	43 8	33 1	0 91
6	31 7	56 1	0 64
7	37 0	39 1	0 90
Moyennes.	28 km, 3	84 tnes, 8	0 kgr, 76

En discutant le mode d'expérimentation adopté par M. de Pambour, il est facile de reconnaître que la proportion d'eau entraînée ainsi déterminée, est très-notablement au-dessous de la réalité ; en effet, il a déduit de la dépense d'eau le poids de la vapeur perdue par les soupapes, en déterminant la production de vapeur de la chaudière au repos, et le nombre de degrés dont la balance se soulève pour donner issue à toute la vapeur formée ; il a tenu compte du soulèvement de la soupape pendant les expériences, et il a supposé que la déperdition de la vapeur par la soupape, comparée à la vaporisation au repos, était proportionnelle à la quantité dont la soupape se soulevait ; il y a tout lieu de croire, au contraire, qu'une très-petite ouverture de la soupape laisse échapper une quantité de vapeur proportionnellement beaucoup moindre qu'une ouverture plus grande ; la correction, ainsi faite, serait considérable. En outre, M. de Pambour a supposé la pression de la vapeur égale dans les cylindres et dans la chaudière ; en supposant le régulateur ouvert en grand dans toutes les expériences, il y avait à tenir compte de la perte de pression qui a lieu au passage de la vapeur à travers le régulateur dans les conduits et dans les lumières, différence qui s'élève au moins à 10 p. 0/0 de la pression de la vapeur dans la chaudière ; c'est donc aussi 10 p. 0/0 environ à déduire de la dépense théorique de vapeur pour l'ajouter à l'eau entraînée ; la proportion de celle-ci s'élèverait donc à 31, 6 p. 0/0. On peut estimer que, dans les expériences de M. de Pambour, la perte d'eau entraînée et de vapeur condensée dans les cylindres s'élevait en moyenne de 30 à 40 p. 0/0.

Expériences de M. Le Chatelier. 1843-1844. — Ces expériences ont été faites à la fin de l'année 1843 et au commencement de l'année 1844, pour servir de base au rapport d'une commission chargée par M. le ministre des travaux publics d'examiner la machine à détente variable, *Mulhouse*, construite par M. Meyer. Les essais ont eu lieu du 27 au 30 novembre 1843 sur le chemin de fer de Versailles (rive gauche), et du 10 au 30 mai 1844 sur le chemin de fer de Paris à Orléans.

Dans une première série d'expériences sur le chemin de fer de Versailles, la consommation d'eau par kilogramme de coke brûlé a varié de 7 kil. 13 à 6 kil. 85 ; la charge brute du convoi variant elle-même de 56 à 116 tonnes, la vitesse moyenne variant aussi de 50 à 40 kilomètres à l'heure.

Le coke était de très-mauvaise qualité et renfermait 17 p. 0/0 de cendres. Les nombres sont la moyenne de la remonte et de la descente sur la rampe de 0^m004, qui règne d'une manière continue de Paris à Versailles. Dans une seconde série d'expériences, comprenant quatre voyages à la remonte, avec des charges variant de 50 à 134 tonnes, et des vitesses variant de 57 à 38 k^m. à l'heure, la dépense d'eau a été uniformément de 6 k^g. 47 par kilogramme de coke brûlé.

Les nombres sur lesquels ont été calculés ces résultats, représentent la consommation d'eau et de coke effectuée depuis le départ de Paris jusqu'au retour, y compris par conséquent la consommation pendant un stationnement d'une heure à Versailles.

Le rendement du coke en vapeur a diminué avec l'activité de la combustion, en même temps que la condensation a diminué au fur et à mesure que la détente était moins prolongée. C'est, du reste, ce qui est résulté de la comparaison du volume et du poids théoriques de vapeur dépensée avec la quantité d'eau consommée. En effet, à des intervalles rapprochés, on avait noté la pression dans la chaudière et le cran de la détente, rendue variable au moyen de deux tiroirs superposés ; en admettant que la pression dans le cylindre fût égale à celle qui était mesurée dans la chaudière, et en négligeant la perte de pression, on a calculé le volume moyen de vapeur dépensée par tour de roue et le poids total de vapeur correspondant, on a trouvé ainsi que le poids théorique de vapeur dépensée avait varié de 50 à 62 p. 0/0, suivant que la détente était plus ou moins prolongée, ou suivant que le travail effectué par la machine était moins ou plus considérable. La moyenne de la déperdition d'eau a été de 32 p. 0/0. La machine *Mulhouse* était du reste dans des conditions assez favorables pour éviter l'entraînement de l'eau, l'espace réservé pour le réservoir de vapeur ayant

une assez grande hauteur et le dôme de prise de vapeur étant placé vers l'avant.

Les expériences faites sur le chemin de fer d'Orléans, avec cette même machine, ont été répétées comparativement avec une machine de Stephenson, *Vauban*, n° 37, à détente variable, au moyen de la coulisse. La première avait une surface de chauffe totale de... m. c. 72,780

La seconde, de............................... 47,023

La machine *Mulhouse* a marché habituellement avec la détente à la sixième division du cadran ; ce qui correspondait approximativement à une admission de 0,20 de la course du piston ; la machine *Vauban* a marché habituellement avec la détente à 3/8, ou 0,37 de la course.

Les expériences ont été faites sur des convois de messageries, entre Paris et Orléans, marchant à des vitesses de 50 à 55 km. à l'heure, avec une charge brute de 90 à 100 tonnes, machine et tender compris. Les résultats consignés dans le tableau ci-joint représentent seulement la consommation depuis le moment du départ de Paris, jusqu'au moment de l'arrivée à Orléans.

Nom de la machine.	Parcours total des expériences.	Consommation par kilomètre.		Eau vaporisée par un kilog. de coke.
		Coke.	Eau.	
Mulhouse	661 km	4kg,96	41kg,75	8kg,41
Vauban	540	5 ,24	50 ,31	9 ,59

Dans une des expériences faites sur la machine *Mulhouse*, on a noté à chaque kilomètre la pression dans la chaudière et le degré de la détente, et on a calculé le poids théorique de vapeur dépensée ; il ne s'est élevé qu'à 63 p. 0/0 du poids de l'eau consommée, ce qui représente une déperdition d'eau de 37 p. 0/0. Ce rapport doit être considéré comme un minimum, car on n'a pas tenu compte de la perte de pression de la vapeur de la chaudière au cylindre, et le mécanicien a tenu le régulateur en partie fermé pendant une partie du trajet. On peut donc considérer cette machine comme donnant une déperdition d'eau d'environ 40 p. 0/0.

La différence qui existe entre les résultats obtenus sur le chemin

de fer de Versailles (rive gauche), dépend surtout de la différence de quantité de coke qui a produit plus de vapeur, et, en outre, de la plus grande condensation résultant de l'usage constant d'une détente très-prolongée. La différence de vaporisation qu'on observe entre la machine *Vauban* et la machine *Mulhouse*, différence qui a été constante dans toutes les expériences, dépend aussi du mode de construction des deux chaudières; la première avait un dôme carré, placé au-dessus du foyer et un assez faible réservoir de vapeur, l'entraînement d'eau a été plus considérable et la vaporisation est ressortie à un chiffre beaucoup plus élevé que dans l'autre machine, quoique la détente fût moins prolongée, et que, selon toute apparence, la condensation fut moins considérable.

Expériences de MM. Gouin et Le Chatelier. — Ces expériences ont été faites sur le chemin de fer de Paris à Versailles (rive droite); elles avaient pour objet l'application de l'indicateur de Watt à la mesure du travail de la vapeur dans les cylindres. Exécutées sur une machine à détente fixe, *la Gironde*, et répétées un très-grand nombre de fois, elles avaient eu pour résultat d'établir un rapport entre la pression dans la boite des tiroirs et la pression dans les cylindres; elles ont permis, par conséquent, de calculer, aussi approximativement que possible, le poids théorique de vapeur dépensée. La moyenne de six expériences, représentant un parcours de 140 kilomètres, a donné pour la déperdition d'eau 18 p. 0/0. Cette machine entraînait peu d'eau, par suite même des dimensions de son réservoir de vapeur et de la position du dôme placé à l'avant; elle était du reste conduite par un mécanicien très-habile, qui maintenait le niveau d'eau très-bas sur le foyer. La détente étant peu prolongée et la contre-pression se maintenant toujours assez forte, il y a tout lieu de supposer que la condensation était assez faible; de plus, les cylindres étant libres dans la boite à fumée, devaient être réchauffés extérieurement par les gaz sortant des tubes à la température de 3 à 400°, de telle sorte que la condensation devait de toute manière être assez faible.

Expériences de M. Bertera. — Les résultats de ces expériences,

actuellement en cours d'exécution, ont été faites sur le chemin de fer de Paris à Orléans, avec le concours de M. C. Polonceau, par M. Bertera, ingénieur des mines, qui nous a communiqué les résultats obtenus jusqu'à ce jour. La dépense d'eau et de coke entre Paris et Orléans a été déterminée comme d'habitude; la pression de la vapeur dans les cylindres a été mesurée sur de nombreux diagrammes relevés avec l'indicateur de Watt, ce qui a permis d'évaluer le rapport du poids théorique de vapeur correspondant au volume engendré par les pistons, à la consommation d'eau effective. Le tableau suivant donne les résultats constatés et calculés par M. Bertera.

INDICATION des MACHINES.	DATE des expériences.	PARCOURS.	CONSOMMATIONS TOTALE.		CONSOMMATIONS PAR KILOM.		EAU dépensée par kilogram. de coke.	Proportion d'eau entraînée et condensée
			Coke.	Eau.	Coke.	Eau.		
		k.	k.	k.	k.	k.	k.	
Machine à Voyageurs, n° 62.	13 mai....	122	645	5.919	5.28	48.76	9.22	37 p. 0/0
	14 mai....	122	581	5.300	4.76	43.44	9.14	44 p. 0/0
Moyenne......	....	....	613	5.624	5.02	46.10	9.17	42 p. 0/0
Machine à Marchandises, n° 154.	10 juin...	122	»	8.827	»	72.35	»	57 p. 0/0
	22 juin...	122	850	8.540	6.96	70.00	10.05	47 p. 0/0
Moyenne.......	....	....	»	8.653	»	71.17	»	52 p. 0/0

Les résultats de ce tableau sont d'accord avec ceux des expériences antérieures; on trouve une dépense d'eau considérable pour chaque kilogramme de coke consommé dans le foyer; pour la machine 62 en particulier, elle diffère peu de la proportion constatée, en 1844, sur la machine 37, construite sur le même modèle. Pour la machine 154, l'augmentation de la vaporisation brute est due, pour une certaine partie, aux dimensions plus grandes de la surface de chauffe et la moindre vitesse de la machine; mais elle doit être attribuée surtout à la déperdition mécanique de l'eau.

La faible proportion de vapeur utilisée doit résulter surtout de ce que la détente est très-prolongée, la vapeur n'étant admise habituellement que pendant les 25 centièmes de la course, tandis que dans la machine 62 l'admission a lieu pendant 35 centièmes; par suite, la condensation doit être plus grande dans les cylindres, et l'intermittence des admissions de vapeur dans chaque cylindre peut déterminer des projections d'eau à l'intérieur de la chaudière, il y a même tout lieu de croire que, dans ces circonstances, l'application du tuyau de prise de vapeur Crampton à cette machine, et spécialement la distribution des ouvertures d'introduction de la vapeur, plus multipliées au-dessus du foyer que sur les autres points, est pour quelque chose dans ce résultat.

Expériences du chemin de fer du Nord. 1850. — Les résultats consignés dans le tableau suivant ont été obtenus dans une série d'expériences entreprises sur le chemin de fer du Nord, et qui sont en cours d'exécution. Ces expériences ont permis de comparer la consommation d'eau à celle de coke; mais, jusqu'ici, l'indicateur n'a pas été appliqué sur les cylindres, il n'a donc pas été possible d'apprécier la part qui doit être faite à l'entraînement de l'eau et à la condensation de la vapeur; il y a lieu de supposer que la déperdition d'eau, pour ce qui concerne l'entraînement mécanique, est comparable à celle qui a été constatée dans les machines 62, 37 et 154 du chemin de fer de Paris à Orléans; car les quatre premières machines du tableau suivant ainsi que la dernière sont construites sur le type de la machine à dôme carré de Stephenson; la cinquième est pourvue de la prise de vapeur de Crampton; il y a lieu de supposer également que si le rapport de l'eau au coke est moindre, cela tient à ce que les expériences ont été faites sur des machines remorquant des trains composés de dix à douze voitures bien chargées, marchant presque constamment à des vitesses supérieures à 60 kilomètres à l'heure; de telle sorte que, d'une part, la détente est peu prolongée, de l'autre l'activité de la combustion et de la vaporisation doit nuire à l'effet utile du combustible. Pour les machines à voyageurs, les expériences ont été

faites sur le parcours de Paris à Amiens, aller et retour ; elles ne comprennent pas les consommations pendant le stationnement avant le départ et dans l'intervalle des deux voyages, à Amiens.

DATE des EXPÉRIENCES	NUMÉROS des Machines.	PARCOURS total.	CONSOMMATION				EAU dépensée par kilogram. de coke.	OBSERVATIONS.
			TOTALE.		PAR KILOM.			
			Coke.	Eau.	Coke.	Eau.		
		k.	k.	k.	k.	k.	k.	
13 juillet .. 4 sept^re...	18	590	2.160	16.990	8.20	58.30	7,11	Machines à dôme carré. — Type Stephenson.
28 juillet .. 15 août....	78	590	1.867	15.504	6.57	52.91	8.05	
25 juin .... 8 juillet...	99	590	3.961	32.160	6.72	54.51	8.11	
17 juillet...	116	295	1.847	15.696	6.26	53.21	8.48	
14 juin .... 19 d°.....	133	590	4.517	34.081	7.65	57.77	7.54	Machine Crampton.
27 juin....	206	147	1.216	10.390	8.27	70.68	8.54	Machine à Marchandises à dôme carré.
Moyenne.........................							8.00	

D'après le témoignage de MM. Gooch et Brunel, dans l'enquête parlementaire de 1848, les machines du Great-Western produisent une dépense d'eau de 8 à 9 kilogrammes par kilogramme de coke consommé.

On s'est souvent occupé d'établir le pouvoir de vaporisation des chaudières des machines locomotives, en déterminant les quantités d'eau qu'elles consomment par heure. Cette donnée n'a qu'un intérêt très-restreint, car, indépendamment de ce que la quantité d'eau ne représente pas la quantité de vapeur utile pour le travail effectué par la machine, elle dépend surtout de la manière dont on fait travailler la machine et de la vitesse à laquelle elle marche ; elle dépend encore du plus ou moins de serrage donné au tuyau d'échappement. Pour citer un exemple, nous donnerons ici le calcul de la consommation des machines du chemin de fer du Nord, qui figurent dans le précédent tableau, et qui ont été affectées à

un même service; la traction des trains de vitesse auxquels il est accordé 2 heures 40 minutes de marche pour effectuer le trajet de Paris à Amiens :

NUMÉROS des MACHINES.	POIDS D'EAU CONSOMMÉ		OBSERVATIONS.
	PAR VOYAGE.	PAR HEURE.	
	kilogr.	kilogr.	
18...........	8,195	3,193	Machines à voyageurs. Type Stephenson.
78...........	7,752	2,913	
99...........	8,040	3,022	
116...........	7,848	2,950	
133...........	8,521	3,202	Machine Crampton.

La machine à marchandises *n°* 154, du chemin de fer d'Orléans, marchant à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure, avec un train fortement chargé, n'a consommé, par heure, que 1,779 kilogr. d'eau dans les expériences que nous avons relatées, quoiqu'elle ait une surface de chauffe plus grande que la plupart des machines comprises dans le tableau précédent, et quoique l'effet utile du coke brûlé, en eau dépensée, y soit plus considérable. Cette différence tient uniquement à ce que, dans un cas, le travail de la machine est appliqué à produire de la vitesse; dans l'autre, à produire un grand effort de traction.

Il résulte des dépositions consignées dans l'enquête du parlement anglais (1848), que la *limite* de la puissance d'évaporation des machines, déterminée par des expériences *ad hoc*, a été trouvée égale à 5750^{kg} environ par heure, pour la voie de 2^{m} 10 (Great-Western), et à 5050^{kg} pour la voie de 1^{m} 44 (North-Western). M. Locke portait cette limite à 6500^{kg} pour les machines les plus récentes sur la voie étroite, et MM. Brunel et Gooch à 8500^{kg} sur la voie large.

La détermination du pouvoir d'évaporation par mètre carré de la surface de chauffe ne présenterait pas plus d'intérêt; car, indépendamment des variations que nous avons signalées, il faudrait encore tenir compte des différents éléments de la surface de chauffe (foyer et tubes), dont l'influence relative sur la production de vapeur, ne saurait être appréciée dans l'état actuel de nos connaissances.

2° Pression de la vapeur sur les pistons. — La tension de la vapeur ne peut pas être la même dans les cylindres que dans la chaudière, ainsi que nous avons eu l'occasion de le faire remarquer dans plusieurs circonstances. Il importe de savoir ce qui a lieu à cet égard, afin de pouvoir mesurer le travail de la vapeur sur les pistons, et d'apprécier les conséquences de tel ou tel mode de distribution, ou de l'usage que fait le mécanicien des appareils dont il dispose, tels que le régulateur et le levier de détente. Nous ne connaissons que deux séries d'expériences qui soient relatives à cette importante question, celles de MM. Gouin et Le Chatelier et celles de M. Bertera, que nous avons déjà citées ; elles ont été faites au moyen de l'indicateur de Watt. Il est à regretter que les nombreux diagrammes relevés par M. Gooch, au moyen du même instrument, et annexés à sa déposition devant les commissaires du parlement, ne portent pas l'indication de la pression dans la chaudière et dans la boite des tiroirs. Il est à regretter également que des expériences de ce genre n'aient pas été répétées un plus grand nombre de fois.

Expériences de MM. Gouin et Le Chatelier. 1844. — Ces expériences ont été faites sur une machine à détente fixe (1). Elles ont eu pour objet, d'abord, de constater la différence de tension de la vapeur entre la chaudière et la boite du tiroir. Il a été reconnu qu'à la vitesse de marche habituelle des convois de voyageurs, 45 kilomètres à l'heure, la tension de la vapeur, dans la boite des tiroirs, pour des sections d'ouverture du régulateur de 15^{cq} à 91^{cq}, variait de 0,64 à 0,96, celle de la chaudière étant prise pour l'unité ; on a reconnu, en outre, que pour cette machine, dans les conditions habituelles de service, il n'y avait pas avantage sensible à donner au régulateur une ouverture supérieure à 55^{cq}, la tension de la vapeur cessant de croître notablement dans la boite des tiroirs lorsque cette limite était dépassée.

---

(1) *Recherches expérimentales sur les machines locomotives*. — Mathias, éditeur. — 1845.

Il a été reconnu, en second lieu, que la perte de tension qu'éprouvait la vapeur au passage des lumières et de leurs conduits, variait de 15 à 5 p. 0/0 de la tension constatée dans la boite des tiroirs, et qu'elle pouvait être évaluée en moyenne à 9 ou 10 p. 0/0. Les différences observées ont paru tenir, d'une manière à peu près exclusive, à l'état plus ou moins prononcé de sécheresse de la vapeur, les deux termes extrêmes de la série correspondant à deux vitesses notablement supérieures à la vitesse moyenne.

Le rapprochement de ces deux séries d'expériences donnerait 15 p. 0/0 pour la perte de pression résultant du passage de la vapeur aux cylindres, lorsque le régulateur est complétement ouvert; mais la première série a été relevée pendant que la machine était entre les mains d'un mécanicien qui tenait habituellement le niveau de l'eau très-élevé dans la chaudière; une partie des résultats de la deuxième série est affectée par la même cause, de telle sorte qu'on peut, la machine étant placée dans de bonnes conditions, admettre 10 p. 0/0 pour le coefficient pratique, relatif à cette machine en particulier, exprimant la perte de pression occasionnée par le passage de la vapeur à travers les conduits et leurs étranglements.

La plus faible pression qui ait été observée lorsque le régulateur était à peine ouvert, la machine marchant lentement, s'est élevée cependant à 0,36 de la pression dans la chaudière.

Quelques expériences spéciales ont permis de constater que le régulateur étant ouvert à la section moyenne de 50 ^{cq}, lorsque le niveau de l'eau était très-élevé dans la chaudière, sans qu'il y eut cependant projection d'eau par la cheminée, la tension dans le cylindre s'abaissait à 0,75 de la tension dans la chaudière, et lorsque la machine primait abondamment, elle s'abaissait à 0,62.

Expériences de M. Bertera. 1850. — Ces expériences n'ont porté, jusqu'ici, que sur deux machines; elles présentent un grand intérêt en ce qu'elles permettent d'apprécier quelle est l'influence des étranglements occasionnés par la diminution de course du tiroir, lorsqu'on détend au moyen de la coulisse de Stephenson, elles ont été faites dans les conditions de marche habituelle des

machines. Les dimensions de ces machines, qui peuvent exercer une influence sur les résultats obtenus, sont les suivantes :

	Machine 154.	*Machine* 62.
Section maxima du régulateur.......	105 cq	125 cq
Section du tuyau de prise de vapeur...	78 cq	78 cq
Longueur développée d° ...	1m57	1m48
Section du tuyau de distribution......	103 cq	122 cq
Longueur développée d°	0m615	0m765
Section des lumières d'admission.....	121 cq	112 cq
Longueur développée d°	0m360	0m320
Diamètre des cylindres..............	0m44	0m40
Course des pistons..................	0m60	0m56
Diamètre des roues motrices.........	1m50	1m68

Les expériences relatives à l'entraînement de l'eau, que nous avons rapportées plus haut, font partie de celles dont les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

NOMBRE des diagram. relevés.	SECTION du régula-teur. — Moyenne.	DETENTE.			VITESSE MOYENNE en kilomètres à l'heure.	PRESSIONS ABSOLUES (en kilogr. par centimètre carré.)				
		CRAN de détente.	Admission en centimèt. de la course.	Ouverture maxima des lumières.		Chaudière. (a)	BOITE des tiroirs. (b)	Cylindres (c)	RAPPORTS $\frac{c}{a}$	$\frac{c}{b}$
»	cent. car.	»	»	mètres.	kilomètres.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	»	»
MACHINE A MARCHANDISES N° 154 (Système Polonceau).										
3	»	9	0.17	0,005	26.6	6.21	5.86	3.22	0.52	0.59
16	»	8	0.23	0,006	25.2	5.98	5.23	3.37	0.56	0.64
6	»	7	0.30	0,007	31.4	5.94	5.38	3.92	0.66	0.73
MACHINE A VOYAGEURS N° 62 (Système Stephenson).										
24	»	8	0.34	0,009	40.6	6.80	6.10	3.40	0.50	0.56
4	»	7	0.43	0,011	42.4	6.87	5.84	3.17	0.46	0.54

Pour la dernière machine, on remarque que le rapport de la tension de la vapeur dans les cylindres et dans la boite des tiroirs est plus petit pour le cran 7 que pour le cran 8 de la détente, tandis que le contraire devrait avoir lieu ; cette anomalie, du reste très-peu considérable, s'explique jusqu'à un certain point par la

plus grande vitesse et par la moindre pression dans la boite des tiroirs ; elle peut tenir également à quelque incertitude dans les résultats constatés, qui ne peuvent pas, du reste, présenter une rigueur mathématique.

Ces tableaux, ainsi que nous l'avons annoncé en parlant de la coulisse de Stephenson, font voir qu'avec une forte tension dans la chaudière, on peut encore obtenir dans les cylindres une tension de vapeur de 3 à 4 atmosphères, de telle sorte que l'emploi de la vapeur sans condensation n'y soit pas trop désavantageux, et que cette tension élevée est une des conditions de l'application de cet appareil de détente.

3° Contre-pression pendant l'échappement. — Le piston pendant sa course rétrograde est soumis à une pression résistante dont il importe de bien apprécier l'importance ; car on se trouverait exposé à de sérieux mécomptes si on supposait, comme on peut le faire lorsque l'on calcule l'effet utile des machines fixes, que cette pression résistante se réduit à celle que l'atmosphère exerce dans les machines sans condensation. La nécessité de jeter la vapeur animée d'une certaine vitesse dans la cheminée, la rapidité du mouvement des pistons, et les résistances qu'éprouve la vapeur à son passage dans les lumières et dans les conduits d'échappement, sont autant de causes qui empêchent la vapeur de tomber à la pression atmosphérique derrière le piston. En outre, lorsque la détente fixe ou variable, par la coulisse de Stephenson, est un peu prolongée, les orifices d'échappement sont fermés avant la fin de la course du piston, et la vapeur se comprime en créant une pression résistante qui s'ajoute à la pression résultant des résistances à l'échappement.

Le terme de comparaison que nous avons adopté est le rapport de la tension moyenne pendant la période d'échappement à la tension moyenne pendant la période d'admission.

Nous avons réuni dans un même tableau, les résultats obtenus par MM. Gouin et Le Chatelier sur la machine à détente fixe qui a servi à leurs expériences, ceux que M. Gooch a consignés dans l'enquête parlementaire de 1848, et ceux que nous avons déduits

des expériences déjà faites par M. Bertera. Nous n'avons reproduit que des moyennes qui seules peuvent présenter de l'intérêt ; en pareille matière, les lois pratiques du travail de la vapeur ne peuvent être établies que par des expériences très-multipliées, attendu que les écarts d'une expérience à l'autre peuvent devenir très-considérables sous l'action des causes très-diverses qui sont en jeu ; les résultats que nous présentons dans ce chapitre ne peuvent donc être considérés que comme des aperçus dont l'utilité est cependant incontestable, quoiqu'ils ne soient basés que sur un nombre encore assez restreint d'expériences.

Nombre de diagram. relevés.	Cran de détente.	Compression en centièmes de la course.	Ouverture maxima des lumières.	Vitesse moyenne en kilomètr. à l'heure.	Pressions absolues (en kilogr. par centim carré). Maxima pendant l'admission.	Maxima pendant l'échappement.	Moyennes. Motrice.	Résistante.	Rapports des pressions moyennes	Observations.
			m.	kilom.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilogr	
Machine a détente fixe *la Gironde*.										**Expériences** *de MM. Gouin et Le Chatelier.* On a enlevé 0m018 de recouvrement intérieur pour la 2e série d'expériences.
50	»	0.22	0,030	41.44	4.27	1.70	1.11	2.06	0.50	
13	»	0.11	0,030	54.62	»	»	1.94	2.34	0.57	
Machine *Great-Brittain* (Large voie).										**Expériences** *de M. Gooch.* Les éléments de l'admission et de l'échappement ne sont pas fournis par les documents que l'auteur a publiés.
29	»	»	»	32.08	3.02	1.03	2.39	1.20	0.46	
18	»	»	»	69.19	5.27	1.33	4.15	1.60	0.39	
19	»	»	»	93.66	6.49	1.83	5 19	2.12	0.40	
Machine a marchandises du chemin de fer d'Orléans, n° 151.										**Expériences** *de M. Bertera.*
3	9	0.50	0,005	26.6	3.22	1.20	2.14	1.48	0.69	
13	8	0.40	0,006	25.5	3.38	1.30	2.36	1.59	0.67	
6	7	0.35	0,007	21.4	3.92	1.35	2.90	1.63	0.56	
Moyennes	»	»	»	24.5	3.51	1.30	2.48	1.58	0.64	
Machine a voyageurs du chemin de fer d'Orléans, n° 62.										**Expériences** *de M. Bertera.*
21	8	0.25	0,009	40.9	3.32	1.71	2 95	1.89	0.64	
4	7	0.16	0,011	42.4	3.17	1.70	2.98	1.94	0.65	
Moyennes	»	»	»	41.1	3.29	1.71	2.95	1.90	0.64	

Un coup d'œil jeté sur ce tableau fera voir combien il y a à rabattre de la mesure de la pression observée dans la chaudière, lorsqu'on veut se rendre compte de la pression utile de la vapeur dans les cylindres, pour calculer le travail qu'elle développe sur les pistons. La réduction serait moindre si nous n'avions pas pris les tensions absolues au lieu des pressions effectives et si la pression atmosphérique avait été déduite; mais celle-ci est une partie de la résistance, elle disparaît dans certaines machines, et il y a lieu d'en tenir compte, d'autant plus qu'elle est une des causes déterminantes ou aggravantes des autres résistances; il est, du reste, plus rationnel d'établir des rapports entre des quantités absolues qu'entre des nombres qui ne représentent eux-mêmes que des différences. Si nous nous reportons aux tableaux des pages 530 et 532, nous voyons la tension de la vapeur par centimètre carré,

	kg.
égale dans la chaudière à........................	5 98
tombant dans la boîte des tiroirs à................	5 23
et dans le cylindre, pendant l'admission, à........	3 37
donnant sur le piston une pression absolue moyenne de.	2 36
et, en fin de compte, une pression effective moyenne de.	0 77
soit, par rapport à la tension mesurée dans la chaudière	13 p. 0/0

En présentant ce résultat sous cette forme, nous nous empressons de faire remarquer que nous avons pour but de faire comprendre combien serait erronée toute méthode de calcul du travail de la vapeur, basée sur la seule observation de la tension de la chaudière; l'effet définitif est surtout faible, parce que la quantité de vapeur employée est elle-même peu considérable, par suite de l'emploi d'une détente très-prolongée.

Cette différence résulte à la fois de la pression atmosphérique qui se retranche de la tension de la vapeur, des résistances opposées à l'écoulement de la vapeur par le régulateur, par la conduite de vapeur, par les lumières étranglées par le tiroir, par les lumières et le tuyau d'échappement; cela résulte enfin de la diminution de la pression motrice produite par la détente et de la compression qui en est la conséquence. Si la machine ne détendait la

vapeur que pendant une partie assez faible de la course, et que la vapeur fût sèche, elle se trouverait dans des conditions analogues à celles où était placée la machine *la Gironde;* en tenant compte, dans ce cas, de la réduction de 10 p. 0/0 qui a lieu de la chaudière au cylindre, d'une réduction d'environ 5 p. 0/0 qui a lieu pour passer de la tension de la vapeur pendant l'admission à sa tension moyenne pendant la course entière, et du rapport de la pression utile à la pression motrice qui est de 50 p. 0/0, on aurait :

	kg.	
Tension de la vapeur dans la chaudière.........	6	»
— *moyenne dans le cylindre ...*	5	23
Pression effective utile.........................	2	61
Soit par rapport à la tension mesurée dans la chaudière...	43 p. 0/0.	

Le rapport de la résistance à la pression motrice augmente, ou celui de la pression utile à la même pression motrice diminue, lorsque la détente est de plus en plus prolongée; c'est ce qui paraît du moins résulter du tableau précédent; on peut s'en rendre compte par l'augmentation de résistance à l'échappement produite par l'étranglement des lumières, qui compense l'effet de la diminution du poids de vapeur à écouler, et par la compression; toutefois, il ne faut pas perdre de vue que le rapport de la résistance à la pression moyenne est d'autant plus grand que celle-ci est plus petite, car il faut toujours comprendre dans la résistance la pression atmosphérique, de telle sorte que si toutes les séries d'expériences faites sur une même machine présentaient une même pression motrice moyenne, ou une même tension pendant l'admission, on arriverait peut-être à un coefficient constant.

Les expériences, que nous avons rapportées sont trop peu nombreuses et il y a trop d'incertitude sur le degré de précision de quelques-unes d'entre elles, pour que nous cherchions à les discuter plus longuement. Il est à désirer qu'elles soient répétées dans un grand nombre de circonstances et sur des machines de types très-divers. C'est par les renseignements qu'elles fourniront qu'on arrivera à augmenter l'effet utile de la vapeur en asséchant les cylindres,

en augmentant les facilités d'admission et d'échappement, etc.

Le tableau précédent montre déjà quelle supériorité les machines du Great-Western ont sur les nôtres ; cette supériorité tient, sans doute, uniquement à la meilleure disposition du réservoir de vapeur et des orifices et conduites d'admission et d'échappement.

La contre-pression augmente lorsque le tuyau d'échappement est serré ; c'est un fait bien connu des mécaniciens ; on le constate également en relevant des diagrammes, mais les expériences dont nous avons eu les données à notre disposition, ne sont ni assez nombreuses ni assez précises pour que nous ayons pu faire ressortir ce résultat par des chiffres. La contre-pression est également augmentée, dans une proportion considérable, par l'entraînement de l'eau liquide.

Il y a un point sur lequel des expériences de cette nature pourront jeter un grand jour, c'est la limite dans laquelle il convient d'appliquer la coulisse de Stephenson à la détente. Pour arriver à détendre le plus possible, on a été conduit à agrandir les dimensions des cylindres, de telle sorte que les machines ne travaillent le plus souvent que dans les crans de la détente la plus prolongée, avec admission de 20 à 30 p. 0/0 de la course ; l'effet utile de la vapeur est augmenté par la détente, mais comme en même temps les orifices d'admission se rétrécissent, la vapeur ne pénètre plus dans le cylindre qu'avec une assez faible tension, ce qui devient, au contraire, une cause marquée de diminution de l'effet utile ; en outre, la détente augmente le refroidissement intérieur du cylindre et la condensation, en même temps que la compression accroît d'une manière notable la résistance derrière le piston, sans que la diminution du poids de vapeur à faire évacuer diminue proportionnellement la contre-pression pendant l'échappement, le rétrécissement des lumières d'échappement venant accroître les résistances à l'écoulement. Il est donc possible qu'il y ait une certaine limite, 1/4 ou 1/3, par exemple, au-dessous de laquelle on ne doive pas réduire la longueur de l'admission, et que, par suite, pour un service donné, il y ait dans l'augmentation du diamètre des cylindres une limite, assez voisine des dimensions actuelles, qu'il soit nuisible de dépasser.

4° COMBUSTION ET TIRAGE. — Nous avons signalé l'importance que présenterait l'étude de la composition des gaz produits dans les foyers des machines locomotives ; mais nous manquons d'expériences à ce sujet. Une seule observation a été faite par MM. Gouin et Le Chatelier, dans la série d'expériences dont nous avons parlé ; mais le résultat n'en a pas été conservé. L'appareil employé pour recueillir les gaz se composait d'un réservoir de forme ellipsoïdale, portant à chacun des sommets un ajutage et un robinet bien rodé ; l'ajutage inférieur se vissait sur un petit tuyau de cuivre pénétrant dans l'intérieur de la boîte à fumée et s'engageant de 10 centimètres dans l'un des tubes de la chaudière ; l'ajutage supérieur se raccordait de même avec un petit tuyau aboutissant à la base de la cheminée, à côté du tuyau d'échappement. Dès que les deux robinets étaient ouverts, il s'établissait dans le réservoir placé extérieurement un courant de gaz chauds, qui avaient promptement chassé l'air ; en fermant le robinet supérieur et laissant refroidir pendant quelques minutes le réservoir, on achevait de le remplir de gaz à une température voisine de la température extérieure, et on se mettait à l'abri des rentrées d'air. Les gaz ainsi recueillis ont été ensuite analysés par les procédés ordinaires.

La température des gaz sortant des tubes est encore un élément qui mérite une étude spéciale ; on manque de données précises à ce sujet ; cependant quelques essais faits avec des métaux fusibles permettent d'apprécier les limites entre lesquelles cette température est comprise. Les données les plus récentes sur cette question sont fournies par les expériences actuellement en cours d'exécution sur le chemin de fer du Nord ; huit expériences faites sur trois machines à voyageurs construites sur le type Stephenson (n° 3 du tableau général de la page 376 et suivantes), parcourant la distance de Paris à Amiens à la vitesse normale de marche de 55 k^m à l'heure, ont donné le même résultat : une balle de plomb suspendue dans la boîte à fumée à 0^m 20 des tubes a constamment fondu, et une balle de zinc placée dans les mêmes conditions a constamment résisté ; la température des gaz dépasse donc 334°, sans atteindre 360°. Les expériences faites dans les mêmes condi-

tions sur une machine Crampton ont montré que la température des gaz était suffisante pour fondre le zinc à 360°, mais qu'elle ne suffisait pas pour faire fondre l'antimoine à 432°. Cette différence qui, du reste, n'est pas très-considérable, s'explique par la grande dimension du foyer, le grand nombre de tubes et leur moindre longueur. Dans ces dernières machines, à un moment donné, par une accélération plus grande de vitesse, par un tirage plus efficace, on peut faire affluer dans la boite à fumée une masse considérable de gaz chauds, que l'eau accumulée autour des tubes n'a pas suffisamment refroidis; mais il n'en résulte pas qu'elles soient habituellement dans des conditions moins favorables que celles de Stephenson pour l'utilisation de la chaleur des gaz.

Pour donner à ces expériences sur la température des gaz tout l'intérêt qu'elles comportent, il serait nécessaire de placer dans la boîte à fumée un thermomètre métallique ou à air, dont les indications se transmettraient à l'extérieur, et qui permettrait de mesurer la température des gaz, dans les différentes conditions où la machine se trouve successivement placée, de comparer l'influence exercée, sur la transmission de la chaleur à l'eau de la chaudière, par le nombre, le diamètre et la longueur des tubes, par l'appareil de tirage, par le mode de combustion du coke sur la grille, etc. La fusion des métaux apprend seulement que dans une partie du parcours, sans doute à la montée d'une rampe, le volume des gaz passant à travers les tubes, dans un temps donné, a été tel qu'ils conservaient encore une température assez élevée pour fondre le plomb ou le zinc. On n'a pas, du reste, cherché à constater autre chose par les expériences de cette nature.

Les expériences sur le tirage sont également peu nombreuses; multipliées dans des circonstances très-variées, elles permettraient d'apprécier l'influence du nombre, de la section et de la longueur des tubes, de la section du tuyau d'échappement de la cheminée, de la surface de la grille, de la hauteur du coke sur la grille, etc.; c'est en combinant ces expériences avec celles que l'on peut faire avec l'indicateur sur la pression dans les cylindres et dans les diverses parties de la conduite d'échappement, qu'on arrivera aux dispositions les plus favorables pour réduire la résistance derrière

le piston sans nuire à l'activité de la vaporisation. C'est un détail sur lequel il peut y avoir encore beaucoup à gagner, car la pression effective de la vapeur qui s'élève souvent jusqu'à une atmosphère derrière le piston, produit à peine une pression de quelques centimètres de mercure vers l'orifice du tuyau d'échappement. Quelques essais tentés dans cette direction par MM. Gouin et Le Chatelier les ont conduits à admettre que, pour la machine qu'ils étudiaient en particulier, à une pression résistante effective d'une atmosphère ou 0^{m}76 de mercure sur le piston, correspondait environ à 0^{m}15 de pression sous la boite du tiroir, et 0^{m}07 à 0^{m}08 à l'orifice de la tuyère.

Nous avons recueilli quelques résultats d'expériences isolées, faites récemment sur le tirage, au moyen de manomètres à eau, indiquant la dépression produite dans la boite à fumée et dans le foyer par l'appel des gaz chauds :

1° *Expériences de M. Polonceau.* — Ces expériences ont été faites sur la ligne de Corbeil avec la machine *n°* 132 (type Stephenson, n° 13 du *tableau général des dimensions.*) La vitesse a varié de 40 à 50 k^m à l'heure, avec un train léger. Les hauteurs manométriques sont exprimées en centimètres d'eau.

CRAN de la DÉTENTE.	TUYAU D'ÉCHAPPEMENT, ouvert entièrement.		ouvert à moitié.		fermé.		OBSERVATIONS.
	Boite à fumée.	Foyer.	Boite à fumée.	Foyer.	Boite à fumée.	Foyer	
1..........	5.3	3.3	10.8	5.8	20.8	10.3	La dépression du manomètre dans la boite à fumée ou dans le foyer, est représentée sensiblement par les nombres suivants : Échappement ouvert, 1.0 — à moitié ouvert, 1.5 — fermé........ 3.0
2..........	5.0	2.8	8.4	4.2	16.7	8.3	
3..........	4.2	2.3	8.0	4.1	14.1	7.1	
4..........	5.7	3.3	8.7	4.4	13.3	7.2	
5..........	4.4	2.7	6.6	3.8	12.3	6.6	
6..........	3.4	2.1	5.5	3.0	9.5	5.0	
7..........	3.2	2.0	3.8	2.2	8.0	4.2	
8..........	1.6	1.0	3.0	1.8	4.8	2.6	
Rapport moyen .	0.59		0.53		0.52		Moyenne générale : 0.55

Ces expériences font ressortir un résultat assez remarquable, c'est que la dépression du manomètre dans le foyer est moitié moindre que dans la boîte à fumée ; la moitié du tirage est employée à faire passer l'air à travers la grille et le combustible, l'autre moitié à faire passer les gaz chauds à travers les tubes.

De nombreuses expériences du même genre ont été faites sur le chemin de fer du Nord ; le tableau suivant comprend les résultats moyens de quelques-unes d'entre elles ; elles ont été groupées pour chaque machine, par trois séries d'ouvertures du tuyau d'échappement correspondant aux conditions habituelles de la marche ; le vide est mesuré pareillement en centimètres d'eau.

N°s DES MACHINES.	VITESSE DE MARCHE.	NOMBRE de voitures.	OUVERTURE DU TUYAU D'ÉCHAPPEMENT (en centimètres carrés) 110 à 90. Boîte à fumée.	110 à 90. Foyer.	90 à 70. Boîte à fumée.	90 à 70. Foyer.	70 à 50. Boîte à fumée.	70 à 50. Foyer.	OBSERVATIONS.
166	k. 55	(a) 11 (b) 12	(a) 8.05	(a) 5.05	(a) 8.72	(a) 6.36	(b) 14.90	(b) 9.75	Machine à voyageurs, type Stephenson.
18	55	(c) 10 (d) 16	(c) 11.14	(c) 6.24	(c) 16.00	(c) 10.33	(d) 18.25	(d) 11.80	Machine à voyageurs, système Clapeyron.
266	22	33	9.62	6.70	10.10	6.9	12.40	8.54	Mach. à marchandises.
			210 à 140. Boîte à fumée.	210 à 140. Foyer.	140 à 100. Boîte à fumée.	140 à 100. Foyer.			
133	60	12	6.25	4.18	6.57	4.35			Machine Crampton.

Le rapport fourni par ces expériences, entre les dépressions constatées dans la boîte à fumée et la boîte à feu, varie entre les limites de 60 à 70 p. 0/0.

§ 4. — Résistances au mouvement.

Il importe de pouvoir apprécier la résistance que les convois opposent au mouvement sur les rails, afin de déterminer les dimen-

sions d'une machine locomotive destinée à effectuer un service donné. L'étude de ces résistances est un des points dont on s'est le plus occupé; cependant il reste encore beaucoup à faire. Il convient de distinguer la résistance propre de la machine et de son tender, et celle du train remorqué; il serait également utile de déterminer à part la résistance développée par l'action des frottements et par celle du vent; mais il y a à cela des difficultés à peu près insurmontables; en effet, cette action varie dans des limites très-étendues avec la direction et l'intensité du vent, et les variations elles-mêmes se superposent à des actions qui croissent comme celles du vent avec la vitesse de marche. Nous ne mentionnerons donc les résultats relatifs à cette décomposition des résistances que sous la responsabilité des observateurs qui les ont déduits de leurs expériences.

La résistance propre des machines se compose : 1° du frottement de roulement sur les rails; 2° du frottement de glissement des axes sur leurs coussinets, des pistons sur les cylindres, des tiges et pièces diverses sur les presse-étoupes, guides, etc.; 3° de la résistance du vent; 4° du frottement de glissement des roues sur les rails occasionné par les défauts de pose de la voie et de montage des machines, l'inégalité d'usure des bandages, les perturbations de toute nature du mouvement de translation, le passage dans les courbes; 5° des pertes de force vive occasionnées par les chocs des roues sur les bouts de rails et des pièces du mécanisme les unes sur les autres lorsqu'il y a du jeu dans les assemblages, etc. Elle varie suivant que la machine travaille, ou se meut seulement par l'action de la gravité ou par l'effet de la vitesse acquise, les pistons n'étant pas en charge. La résistance propre des convois varie par l'effet des mêmes causes, à l'exception toutefois de celles qui, dans les machines, sont inhérentes aux pressions exercées ou déterminées par la vapeur entre les différentes pièces qui composent l'appareil moteur.

Nous présenterons par ordre chronologique les résultats obtenus par les différents observateurs dont les travaux sont parvenus à notre connaissance.

1° *Expériences de M. de Pambour*, 1834-1836. — Les méthodes d'expérimentation et de calcul de M. de Pambour sont détaillées dans son *Traité théorique et pratique des machines locomotives*; nous nous contenterons de rapporter ici les conclusions qu'il a formulées au sujet de la résistance des véhicules, dans les différentes conditions où ils se trouvent placés, en faisant remarquer toutefois, qu'en général, les résultats qui ont pu être constatés à cette époque ne sont plus exactement applicables aujourd'hui, les voies étant mieux assises et mieux entretenues, les dimensions des fusées de wagons et les dispositions des machines ayant notablement changé; de plus, ces résultats ne sont que dans un petit nombre de cas, déduits de l'observation directe, et n'ont été en général obtenus que d'une manière indirecte, par des méthodes de calcul plus ou moins approximatives.

Les nombres formulés par M. de Pambour sont les suivants :

Résistance de l'air, calculée sur la surface effective S du train, exprimée en mètres carrés, et obtenue en ajoutant à la section du wagon le plus large et le plus élevé 0mq. 93 pour chacun des véhicules entrant dans la composition du convoi, V étant sa vitesse en kilomètres à l'heure.

$$Q = 0{,}005064\ S\ V^2.$$

		kg.
Frottement des wagons, par tonne du poids	....	2 69
Frottement des machines isolées d°	....	6 70

Frottement additionnel des machines chargées, ou augmentation de frottement, produite dans une machine à quatre roues non accouplées par le travail qu'elle effectue pour surmonter la résistance totale R produite par le frottement des wagons, par l'action de la gravité et la résistance de l'air sur l'ensemble du convoi :

$$Q' = 0{,}137\ R.$$

En calculant avec ces éléments la résistance totale d'un convoi de neuf wagons, pesant avec le tender 50 tonnes, marchant à la vitesse de 32 kilomètres à l'heure, présentant à la résistance de

l'air une *surface effective* de $13^{mq},72$, remorqué par une machine à 4 roues accouplées du poids de 8 tonnes, et gravissant une rampe de $0^m,002$ par mètre, M. de Pambour trouve, pour la résistance totale du convoi au mouvement, déduction faite de la

	kg.
gravité......................................	317 45
Ou, *par tonne du poids total*..................	5 47
Le même calcul répété pour la vitesse de 64 kilomètres à l'heure, donnerait *par tonne du poids total*...	9 74

2° *Expériences diverses rapportées par M. Minard*, *dans un Mémoire* intitulé : *Des Pentes sur les chemins de fer.*

En mars 1840, M. Morin a mesuré sur le chemin de fer de Saint-Germain, avec son dynamomètre, la résistance opposée au mouvement par un convoi de 5 wagons, pesant ensemble 27^t 6, remorqués à la vitesse de 18 à 25 kilomètres à l'heure.

Douze expériences faites par un vent arrière, qui soufflait dans la direction du chemin, et avec une vitesse sensiblement égale à la marche du convoi, ont donné, pour la résistance moyenne du train remorqué :

	kg.
Par tonne :.................................	5 05
Dix autres expériences ont donné par tonne remorquée :	
Avec vent debout............................	8 20
Avec vent arrière...........................	3 98
Moyenne............	6 09.

Quatre autres expériences faites avec vent oblique, en sens contraire de la marche du convoi, ayant une vitesse d'environ 3 mètres par seconde, ont donné les résistances suivantes par tonne :

	kg.
Pour la vitesse de 17 *kilomètres à l'heure*.......	5 52
— 40 —	10 25.

A la même époque, et dans la même série d'expériences, on a laissé descendre le même train de cinq wagons sur le chemin de fer

de Paris à Versailles, sur la pente continue de 0m005 par mètre qui règne de Versailles à Asnières. Le tracé en plan est assez accidenté et présentait quelques courbes de 800 mètres; il régnait, pendant la durée des expériences, un vent du nord de force moyenne, opposé à la marche du convoi. En déduisant du parcours les premiers kilomètres sur lesquels le train ne marchait pas encore sous l'action de la gravité seule, on obtint pour résultat :

	km.	kg.
Résistance par tonne à la vitesse moyenne de..	16 8..	5 00.

Deux expériences faites par le docteur Lardner, en Angleterre, en laissant descendre un train de wagons sans machine, et rapportées également par M. Minard, ont donné les résultats suivants, pour la vitesse uniforme observée par un temps calme :

	km.	kg.
Résistance totale à la vitesse moyenne de..	53 5..	11 23.

3° Plusieurs observations recueillies en 1844 par la commission chargée par M. le ministre des travaux publics de faire des expériences sur la machine *Mulhouse*, ont fait reconnaître que, sur la rampe de 0m008 par mètre du chemin de fer de Paris à Orléans, à Etampes, les machines à voyageurs descendaient librement sans l'action de la vapeur, par un temps calme, en prenant une vitesse d'environ 30 kilomètres à l'heure; on a donc, dans ce cas, pour les machines à voyageurs, isolées :

	kg.
Résistance par tonne à la vitesse de 30 *kil. à l'heure...*	8 00

4° *Expériences de MM. Gouin et Le Chatelier*, 1844.

MM. Gouin et Le Chatelier, dans la série d'expériences dont nous avons déjà parlé, ont cherché à établir, au moyen des diagrammes relevés avec l'indicateur de Watt, et avec le dynamomètre de M. Morin, la résistance des convois (machine et tender compris),

celle des machines isolées et celle des trains remorqués. Ces expériences donnent les résultats moyens suivants :

OBJET des EXPÉRIENCES.	NOMBRE des observations.	VITESSES moyennes en kilomètres à l'heure.	NOMBRE moyen de wagons remorqués.	POIDS du CONVOI en tonnes.	RÉSISTANCE par tonne brute en kilogramm., la gravité déduite.	MODE de DÉTERMINATION.
Machine et tender (seuls)...........	2	km. 28.4	»	kg. 26 0	kg. 11.63	Indicateur.
Convoi brut (machine et tender compris).........	37	42.7	6.86	60.3	10.31	Indicateur.
Train remorqué (machine et tender non compris).	3 5 3	38.38 49.17 56.37	8.0 8.0 5.3	41.0 41.0 22.0	4.06 6 56 8.13	Dynamomètre intercalé entre le tender et la 1re voiture. Temps calme.
Moyenne......	11	48.0	7.3	37.7	6.31	

Il est à regretter que ces expériences n'aient pu être combinées de manière à donner simultanément les diagrammes de l'indicateur et du dynamomètre, ce qui aurait permis de constater quelle était la fraction totale du travail moteur absorbé par le frottement de la machine comme véhicule, par le frottement de son mécanisme et par le frottement additionnel résultant du travail de la vapeur, enfin par la résistance de l'air qu'elle divise en avant du train ; on peut cependant le faire d'une manière approximative au moyen du tableau précédent. En effet, on peut admettre pour la résistance brute, à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, d'un convoi brut de 60 tonnes.. kg. 10 50

Pour celle du train remorqué (34 tonnes)........... 6 25

Il reste donc, pour la résistance totale due à la machine et au tender 10,kg 5 × 60 — 34 × 6kg. 25 =.......... 417 kg. 5

Ou *par tonne du poids de l'appareil moteur*..... 16 00

Si l'on suppose que les frottements et la résistance de la machine, considérée comme véhicule sans son mécanisme, soient égaux à ceux des wagons, la résistance additionnelle totale produite par le jeu des organes de la machine est égale, *pour chaque tonne du convoi brut*, à.................................. 4kg 25
pour chaque tonne de l'appareil moteur (machine et tender), à.................................. 9 75

Si l'on applique à la détermination de ces résultats les données obtenues sur le chemin de fer d'Orléans pour les machines marchant à vide, qui établissent que le frottement d'une machine et de son tender isolés, à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure est de 8 kilogrammes par tonne, on peut en conclure approximativement que cette même résistance, à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, sera égale à 12 kilogrammes, de telle sorte que sur la résistance de 16 kilogrammes *par tonne du poids de l'appareil moteur*, il resterait pour la part de résistance additionnelle due à l'action de la vapeur.................................. 4kg »

On peut donc, en groupant ces divers résultats, décomposer comme suit la résistance totale que le convoi de 60 tonnes, que nous avons pris pour exemple, éprouve dans son mouvement à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure :

1° *Résistance du convoi brut, par tonne,*

—	due au mouvement des véhicules....	6kg 25
—	due aux frottements du mécanisme de la machine sans charge..........	2 50
—	due aux frottements du mécanisme produits par la pression de la vapeur.	1 75
—	totale..........................	10kg 50

2° *Résistance de l'appareil moteur, par tonne,*

—	due au mouvement du véhicule.....	6kg 25
—	due au frottement du mécanisme sans charge........................	5 75
—	due à la pression de la vapeur......	4 »
—	totale..........................	16 00

3° *Expériences des ingénieurs anglais.* — Un grand nombre d'expériences ont été faites en Angleterre sur la résistance développée par le mouvement des convois ; les seules complètes sont celles qui ont été faites par M. Gooch, sur le chemin de fer du Great-Western, et qui sont relatées dans la déposition de cet ingénieur devant les commissaires du Parlement (1848). Elles ont été faites au moyen de l'indicateur de Watt, placé sur le cylindre de la machine Great-Britain, et d'un dynamomètre construit avec beaucoup de soin et placé à l'arrière du tender sur un wagon disposé à cet effet. Les expériences ont été faites sur une partie du chemin parfaitement droite et horizontale, et située au niveau du sol. Le train remorqué se composait de voitures à six roues, de première et deuxième classe, lestées et pesant chacune, en totalité, 10 tonnes ; le wagon du dynamomètre pesait également 10 tonnes, et présentait la même section que les autres voitures. Nous rapporterons le résultat de plusieurs séries d'expériences desquelles M. Gooch a cru pouvoir conclure que les résistances ainsi observées sur le Great-Western, sont d'environ 20 p. 0/0 inférieures à celles que l'expérience permet d'admettre pour les chemins de fer à voie étroite. Nous avons calculé, en assimilant la machine et le tender à des véhicules ordinaires, et en déduisant la part de la résistance comme véhicule établie d'après cette hypothèse, la résistance due aux frottements du mécanisme et à la pression de la vapeur sur les pistons, nous l'avons comparée : 1° au poids de la machine et du tender ; 2° au poids du convoi brut ; 3° à la résistance totale mesurée par l'indicateur. Les différents résultats, observés et calculés, sont compris dans le tableau suivant :

TABLEAU

VITESSES moyennes en KILOMÈTRES à l'heure.	RÉSISTANCE PAR TONNE			RÉSISTANCE ADDITIONNELLE due au mécanisme et à la pression de la vapeur.		
	du convoi brut (machine et tender compris) par l'indicateur	du train remorqué, par le dynamomètre.	de la machine et du tender.	par tonne du convoi brut.	par tonne du poids de la machine et du tender.	Rapport de la résistance additionnelle à la résistance totale.
TRAIN REMORQUÉ, 100 TONNES. — CONVOI BRUT, 150 TONNES.						
km.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
21.1	4.10	3.43	3.31	0.67	2.00	0.16
32.2	5.11	3.87	7.49	1.24	3.72	0.21
72.4	10.46	7.26	13.96	3.20	9.60	0.30
91.7	12.42	9.94	19.17	2.48	7.44	0.20
92.2	»	10.77	»	»	»	»
98.1	»	10.07	»	»	»	»
TRAIN REMORQUÉ, 80 TONNES.						
84.6	»	9.42	»	»	»	»
TRAIN REMORQUÉ, 50 TONNES. — CONVOI BRUT, 100 TONNES.						
35.5	6.86	4.31	8.75	2.54	5.08	0.37
69.8	9.07	6.65	11.37	2.42	4.84	0.27
59.5	13.84	10.21	17.58	3.63	7.26	0.26
Rapport moyen de la résistance additionnelle à la résistance totale....						0,25

Les expériences, qui ont été faites sur les chemins à voie étroite sont assez nombreuses; elles ont eu lieu à diverses époques, soit en laissant descendre des convois de wagons sur des plans inclinés, et en observant quelle vitesse uniforme ils prenaient pour chaque inclinaison, soit au moyen du dynamomètre de M. Morin, soit enfin par l'observation du vide dans le tube d'un chemin de fer atmosphérique. Ces expériences, discutées par M. Wyndham Harding, qui lui-même y a concouru pour sa part, l'ont conduit à admettre une formule empyrique établie déjà par M. Scott-Russell : nous reproduisons ici cette formule, que M. Gooch a prise comme terme de comparaison entre la résistance sur la voie de 2ᵐ10 et sur celle de 1ᵐ45, en déclarant qu'il la considérait comme exacte, en tant

qu'appliquée à la petite voie. Nous pensons que, jusqu'à ce que des expériences plus nombreuses et mieux suivies aient établi les lois pratiques de la résistance au mouvement, on doit se servir des résultats que donne cette formule. Elle s'applique aux trains de wagons et laisse en dehors les résistances propres et additionnelles de la machine et du tender, dont il faut tenir compte à part; elle donne du reste, d'après M. Harding, des résultats un peu trop forts pour les faibles vitesses, mais elle s'accorde très-bien avec les résultats de la pratique pour la grande vitesse, entre les limites de 60 à 100 kilomètres, et de 20 à 100 tonnes; elle n'est du reste établie que pour les trains de voyageurs.

Cette formule en unité anglaise est la suivante :

$$R = 6 + \frac{V}{3} + \frac{V^2\ 0{,}0025\ N}{T}$$

R étant la résistance totale par tonne exprimée en livres, V la vitesse en milles par heure, N la surface de front du train ou sa plus grande section, T le poids du train exprimé en tonnes. Le premier terme est le coefficient de frottement des véhicules, que l'expérience a fait trouver égal à 6 livres (avoir du poids).

Le second exprime la résistance due aux chocs, aux secousses et aux vibrations de la voie, que l'on considère comme proportionnelles à la vitesse, à 10 milles à l'heure et au-dessus; le troisième terme représente la résistance du vent, qui croît proportionnellement au carré de la vitesse.

En mesures françaises, V' étant évalué en kilomètres à l'heure, N' en mètres carrés et R' en kilogrammes, on a

$$R' = 2{,}72 + 0{,}094\ V' + 0{,}00484 \frac{N'\ V'^2}{T'}$$

En appliquant cette formule au résultat moyen des expériences de MM. Gouin et Le Chatelier, elle donne des résultats notablement supérieurs à ceux que ces observateurs ont obtenus. Ces expériences sont d'ailleurs peu nombreuses, et restent elles-mêmes au-dessous des chiffres obtenus antérieurement sur le même chemin et par d'autres observateurs.

Nous pensons qu'il conviendra, jusqu'à plus ample détermination des résistances de toute nature, de faire usage de cette formule. Pour faciliter son usage, nous avons calculé la table ci-jointe qui donne, pour des vitesses variant de 10 en 10 kilomètres, et des trains dont la charge varie de 40 à 100 tonnes, le coefficient de la résistance totale, la surface de front étant supposée égale à 5 mètres carrés.

VITESSES EN KILOMÈTRES à l'heure.	POIDS DU TRAIN REMORQUÉ EN TONNES.						
	40	50	60	70	80	90	100
	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
40	7.45	7.25	7.12	7.04	6.96	6.90	6.86
50	8.93	8.63	8.42	8.29	8.17	8.07	8.02
60	10.53	10.10	9.81	9.68	9.45	9.32	9.23
70	12.26	11.67	11.27	10.99	10.78	10.61	10.48
80	14.11	13.34	12.84	12.45	12.19	11.96	11.79
90	16.08	15.10	14.45	13.84	13.63	13.36	13.14
100	18.17	16.96	16.15	15.5	15.14	14.82	14.54

§ 3. — Programme d'expériences.

Les résultats d'expériences que nous avons pu recueillir et consigner dans les paragraphes précédents, sont fort incomplets, et cependant ils présentent un certain intérêt, car ils permettent d'apprécier numériquement certains effets dont il est nécessaire de tenir compte dans la pratique. L'insuffisance de ces renseignements ne tient pas seulement au petit nombre d'observations qui ont été faites ; elle dépend encore du défaut d'ensemble que l'on remarque dans les expériences faites isolément à des points de vue différents et dans des circonstances très-diverses ; elles ne pourraient, du reste, être bien concluantes que si elles avaient été assez multipliées, pour qu'on pût les grouper par catégories, renfermant chacune un nombre de termes assez grand pour fournir des moyennes résultant de chiffres comparables, et assez nombreux pour faire disparaître l'influence des anomalies qu'on ne peut manquer de constater assez fréquemment. Nous pensons qu'il serait

utile d'entreprendre, avec méthode et sur une vaste échelle, une série d'expériences très-complètes, qui permettrait de constater les conditions de service des machines actuellement en usage, de comparer les différents systèmes entre eux, et qui deviendrait le point de départ des études des constructeurs et des ingénieurs. Il faudrait, pour cela, le concours des ingénieurs qui dirigent le matériel de nos principaux chemins de fer, travaillant chacun de leur côté, sur un programme et avec des méthodes d'expérimentation déterminés à l'avance; on obtiendrait ainsi une masse de documents dont le dépouillement fournirait, sans aucun doute, des renseignements de la plus haute utilité. Nous ne doutons pas que notre appel ne soit entendu, et nous croyons devoir compléter ce que cette pensée présente d'utile, en traçant un projet qui pourra servir de base au programme définitif qu'il conviendra d'adopter.

La série des expériences à entreprendre sur différents types de machines peut être indiquée dans les termes suivants :

1° *Application de l'indicateur de Watt sur les cylindres.* — Détermination par des diagrammes relevés à petite vitesse, pour chaque degré de détente, des points qui limitent l'admission, l'échappement, la compression, et comparaison avec les résultats obtenus par mesure directe sur les tiroirs, la machine marchant à la pince; constatation de l'effet du jeu des pièces de la distribution à divers degrés de détente; relevé de diagrammes dans les circonstances habituelles du service; calcul du travail moteur, du travail résistant et de l'effet utile de la vapeur; mesure de la résistance totale au mouvement; mesure du poids théorique de vapeur dépensée; différence de pression entre la chaudière et la boîte de tiroirs, entre la boîte de tiroirs et les cylindres; mesure de l'influence du régulateur et de la détente par la coulisse sur les différences de pression; influence des conduits et orifices d'échappement et de la section du tuyau d'échappement variable sur la contre-pression; influence de l'eau entraînée sur la pression dans le cylindre, sur la contre-pression et sur la compression; calcul de l'effet utile d'un poids donné de vapeur introduit dans le cylindre ou dépensé par la

chaudière, et détermination des limites dans lesquelles la détente peut être utilement prolongée. Mesure du travail effectué par la vapeur sur les pistons.

2° *Application du dynamomètre.* — Résistance des machines considérées comme véhicules, les pièces du mécanisme démontées.

Résistance des machines sans charge, le régulateur fermé, les purgeurs ouverts ou fermés.

Résistance des trains mesurée derrière le tender et dans diverses parties de leur longueur.

Influence du mode de construction et d'entretien de la voie, du mode de construction du matériel (diamètre des fusées et des roues, surface des wagons), et de son état d'entretien; influence des courbes; action du vent, de l'état sec ou humide de l'atmosphère, de l'eau projetée sur les rails, etc.; influence du rapport du poids utile au poids mort; influence du mode d'attelage des wagons, du mode de suspension et de l'écartement des essieux; comparaison des résistances dans les trains remorqués à petite, moyenne et grande vitesse.

Frottements additionnels des machines par la pression de la vapeur.

3° *Observations diverses.* — Analyse du coke; influence de la qualité sur la production de vapeur et sur l'économie.

Analyse des gaz; influence de la hauteur de la charge sur la grille, de l'état des fragments de coke.

Mesure des températures dans le foyer, dans la boite à fumée, dans les tubes.

Vide produit par le tirage dans la boite à fumée et dans le foyer; influence de l'ouverture du tuyau d'échappement, de sa forme et de sa position, de la disposition et de la diminution des orifices d'échappement; influence du nombre et de la longueur des tubes.

Mesure de la pression dans les différentes parties du tuyau d'échappement.

Influence des dimensions et de la forme de la cheminée, de la forme et des dimensions de la boîte à fumée.

Détermination de la consommation de coke, en marche, en stationnement, en réserve et pour l'allumage.

Mesure de la dépense d'eau; vaporisation par kilogramme de coke; comparaison des quantités d'eau dépensée et de vapeur utilement employée dans les cylindres; influence de la prise de vapeur sur l'entraînement de l'eau et de la détente sur la condensation dans les cylindres.

4° *Relevés statistiques.* — Parcours annuels des machines. Parcours des machines entre deux grandes réparations.

Durée moyenne des diverses parties de la chaudière et du mouvement.

Décomposition du prix de revient de la traction.

Avant d'entamer ces expériences, il serait nécessaire d'arrêter en principe le choix des instruments qui devraient y être appliqués. Les indicateurs employés jusqu'ici laissent à désirer; il importe de réduire au strict nécessaire le poids du piston et de ses accessoires, dont l'inertie fausse les indications, par suite du retard qu'éprouve son mouvement aux instants mêmes où le piston de la machine est animé de la plus grande vitesse; la transmission du mouvement de va-et-vient au papier sur lequel sont tracés les diagrammes laisse également beaucoup à désirer; il y aurait lieu de substituer à ce mouvement rectiligne de va-et-vient un mouvement de rotation uniforme, sauf à restituer aux diagrammes, par un tracé graphique, la forme sous laquelle il est nécessaire de mesurer les indications qu'ils fournissent. Les dynamomètres construits jusqu'à ce jour n'ont pu servir qu'à relever des efforts moyens de traction sur des parcours d'une petite étendue; il serait nécessaire d'adopter une disposition qui permît de donner au mouvement de translation du papier une très-faible vitesse, afin de pouvoir constater la résistance moyenne sur de longs parcours, et la comparer à la consommation de combustible, au lieu de rapporter celle-ci au poids brut du train remorqué, comme on le fait quelquefois.

LIVRE VIII.

ACCIDENTS.

Nous avons indiqué, dans un livre précédent, quelles étaient les principales réparations auxquelles pourrait donner lieu l'entretien d'une machine locomotive et son tender; il nous reste ici à indiquer la nature des avaries qu'une machine peut éprouver en service et les dispositions que le mécanicien doit prendre en pareille circonstance, en attendant que les réparations puissent être faites; nous ferons connaître, en outre, les accidents résultant de causes générales et les mesures que le mécanicien doit prendre à l'occasion.

Nous compléterons cette dernière partie de notre travail par un résumé de la législation en vigueur pour ce qui concerne la construction des machines locomotives et leur service.

§ 1er. — Avaries à la machine.

1° Appareil de vaporisation. — La chaudière peut faire explosion lorsqu'elle présente quelque vice intérieur de construction, ou lorsque, par défaut d'exécution, la solidité s'est trouvée altérée; mais les accidents de cette nature ont été jusqu'ici très-rares, et ne peuvent arriver, si la machine a été régulièrement soumise aux épreuves de la presse hydraulique, que par le défaut de soin du mécanicien, lorsqu'il surcharge les soupapes ou lorsqu'il néglige de vérifier ou d'entretenir le niveau de l'eau dans la chaudière. Une explosion proprement dite de la chaudière, met toujours la machine complétement hors de service, et donne lieu, pour le rétablisse-

ment de la circulation, aux mêmes mesures que les accidents généraux dont nous parlerons plus loin.

La chaudière peut éprouver en service des avaries partielles : il peut se déclarer des fuites dans le foyer, aux rivures, sous les têtes d'entretoises, au joint des pièces rapportées, par des fissures qui se déclarent dans les parois, au joint de la porte, aux joints des tubes sur la plaque tubulaire. Si ces fuites ne sont pas assez abondantes pour éteindre le feu complétement, et si cependant elles sont assez fortes pour ralentir l'activité de la vaporisation, le mécanicien peut, au moyen de quelques précautions, soutenir sa marche ; il doit charger son feu et le maintenir fortement chargé, serrer l'échappement pour entretenir une combustion très-active, charger fréquemment et peu à la fois, maintenir le niveau de l'eau élevé, éviter, en un mot, tous les changements brusques ou trop grands de température ; on peut ainsi achever le trajet en observant avec une attention soutenue ces diverses prescriptions, mais ce n'est qu'un expédient momentané ; la machine doit être réparée si les fuites ne se sont pas fermées d'elles-mêmes et si elles conservent assez d'intensité pour compromettre la régularité ou l'économie du service. On emploie souvent avec succès, pour diminuer les fuites ou quelquefois pour les arrêter complétement, la farine de seigle ou le son, lorqu'il n'est pas complétement séparé de la farine, ou bien les deux mélangés ; il suffit d'en jeter à plusieurs reprises deux poignées dans le tender, mais il faut éviter d'en faire un excès pour ne pas faire primer la machine ; les parties solubles du mélange de son et de farine s'introduisent dans les fissures et les empâtent, les parties non solubles s'appliquent sur ces fissures et forment obturateur. On peut employer avec un égal succès le crottin de cheval, que l'on introduit dans la chaudière.

Lorsque les tubes viennent à perdre, ou, dans le langage des mécaniciens, lorsque les viroles viennent à fuir, on ne doit pas chercher à les renfoncer pendant la marche, parce qu'on ébranle tous les tubes et on ne fait qu'augmenter l'intensité des fuites.

Le plomb de sûreté placé dans le plafond du foyer fond quel-

quefois, et l'eau et la vapeur sont projetées avec violence sur le foyer ; il faut alors jeter le feu aussi rapidement que possible. Quelquefois le plomb n'est qu'incomplétement fondu, un mécanicien adroit et courageux peut alors y introduire une cheville en bois ou en fer qui arrête momentanément la fuite.

Les tubes crèvent quelquefois près de la plaque tubulaire de la boîte à feu; l'eau se trouve projetée dans le foyer et s'y convertit en vapeur, en telle abondance qu'il est souvent difficile de découvrir le tube crevé, surtout si la machine n'est pas en marche ; il convient alors de la faire marcher pour entraîner l'eau, la vapeur et les cendres dans la boîte à fumée. Il faut, en outre, ouvrir immédiatement les deux pompes, afin d'empêcher l'eau de baisser pour éviter de brûler le foyer, et, en même temps, afin de faire tomber la pression dans la chaudière. Si l'on peut maintenir le niveau de l'eau dans la chaudière, on chasse, avec la tringle à tamponner les tubes, un tampon en bois blanc qui ferme le tube du côté du foyer ; on arrête la machine et on tamponne le tube dans la boîte à fumée. On doit éviter de se servir de tampons en fer, qu'on ne peut chasser qu'en risquant d'ébranler les viroles des tubes voisins et de déformer la plaque tubulaire ; lorsqu'une machine a des tubes tamponnés, on doit éviter de se tenir devant la porte du foyer et devant celle de la boîte à fumée lorsqu'elles sont ouvertes, parce que les tampons peuvent sauter avec violence et blesser les personnes qui se trouveraient sur leur trajectoire.

Il arrive quelquefois que les tubes crèvent complétement au lieu de se fendre, ou que l'ébranlement produit par un premier tube crevé, détermine la rupture de plusieurs autres tubes également usés ; si le mécanicien reconnaît qu'il ne peut pas maintenir le niveau de l'eau, il doit se mettre en mesure de jeter le feu, tout en alimentant aussi activement que possible et en continuant à maintenir la machine en marche. S'il est impossible de jeter le feu assez rapidement, le mécanicien doit l'éteindre avec de l'eau puisée dans le tender, mais en prenant toutes les précautions nécessaires pour ne pas *étonner* les parois du foyer par une contraction trop subite. Lorsqu'on jette le feu, on doit, autant que possible, déta-

cher la machine du convoi, pour éviter de mettre le feu aux wagons; s'il était impossible de le faire, on ne doit marcher qu'assez lentement, pour éviter de faire dérailler les wagons si les barreaux de la grille tombent sur les rails.

Lorsque la machine est pourvue d'un cendrier, les barreaux et le coke y tombent ; le mécanicien les pousse avec sa lance pour les faire tomber du cendrier sur la voie, et lorsqu'il s'est débarrassé de la plus grande partie du coke incandescent, il arrête, et le chauffeur fait tomber le reste en le poussant par la petite porte de derrière du cendrier, si celui-ci n'est pas complétement ouvert. Si le mécanicien est obligé de jeter le feu pendant que la machine est en service sur la ligne, il attend la machine de secours, en tâchant de rejoindre le train, s'il reste encore assez de vapeur dans la machine; il doit, dans tous les cas, lorsqu'il s'est séparé du train pour jeter le feu, tâcher de rester en vue ou se mettre en rapport avec le chef du train, afin de faire connaître à quel point il s'est arrêté, pour le cas où une machine survenant à l'arrière, pousserait les wagons qui encombrent la voie.

Lorsqu'il se déclare des fuites abondantes dans les joints du cadre qui relie le foyer et son enveloppe à leur partie inférieure, il n'y a d'autre précaution à prendre qu'à maintenir le feu bien actif, et à soutenir l'alimentation, pour le cas, du reste fort rare, où ces fuites pourraient compromettre la marche de la machine.

Il arrive quelquefois que des barreaux de la grille tombent en route; si le coke s'échappe en abondance de la grille, il faut marcher avec précaution jusqu'au dépôt ou jusqu'à la station la plus voisine, où le chauffeur déplace les barreaux adjacents et tâche de rétablir une répartition régulière; si la grille n'est plus suffisamment garnie, il faut changer de machine.

Les fuites à l'extérieur de la chaudière ont en général peu d'importance et ne donnent lieu à aucune mesure spéciale en attendant la réparation; si l'eau coule ou se condense avec quelque abondance, il faut éviter qu'elle tombe sur les boites à graisse et sur les articulations qu'on doit maintenir lubréfiées; elle pourrait les

faire chauffer en déplaçant et en faisant perdre l'huile contenue dans les réservoirs.

Les enveloppes en feutre se calcinent par un long service et prennent feu spontanément ou accidentellement, lorsque la flamme sort par-dessous la grille ou lorsque la machine séjourne trop longtemps au-dessus d'un tas de coke incandescent quand on jette le feu; on l'éteint avec soin en prenant de l'eau dans le tender.

Il arrive quelquefois que la petite porte placée à la partie inférieure de la boite à fumée s'ouvre pendant la marche; le mécanicien doit s'assurer, lorsqu'il voit tomber la pression d'une manière anomale, malgré ses efforts pour la maintenir, si cela n'est pas dû à l'ouverture de cette porte; il tâche de gagner la station la plus voisine, ou s'arrête en route pour la fermer et l'assujettir solidement.

La rupture de la cheminée a lieu quelquefois lorsqu'elle vient frapper des échafaudages mal placés sous les ouvrages d'art en réparation, ou même, au début du service, des ouvrages trop bas; elle a lieu encore spontanément par suite d'une usure trop prolongée. Si la rupture se fait vers le milieu, en chargeant beaucoup le feu et en maintenant un tirage très-énergique, on peut quelquefois se tirer d'affaire quand la grille a une grande surface. Si la rupture a lieu vers le bas, et que les circonstances de la rupture ne permettent pas de redresser la cheminée et de l'assujettir à peu près avec des cordes, il faut arrêter le train, décrocher la machine et tâcher de la conduire sur une gare d'évitement pour qu'elle ne gêne pas le service de la machine de secours.

Les accessoires de la chaudière éprouvent des avaries qui peuvent entraver complétement le service. Quelquefois les ressorts des balances qui commandent les soupapes se brisent; si la soupape n'est pas déplacée sur son siége, on fixe le levier au moyen de cordes et la machine peut continuer son service, à moins toutefois que la seconde soupape n'éprouve le même accident; dans ce dernier cas il faut alimenter, ouvrir l'échappement et le registre, de manière à maintenir avec certitude une pression convenable dans la chaudière, sans s'exposer à produire un excès de vapeur, et ga-

gner le dépôt le plus voisin où l'on change de machine; si la machine n'avait pas son manomètre en bon état, il ne faudrait pas hésiter à jeter le feu. On doit également jeter ou éteindre le feu sans perdre un instant, si le clapet de la soupape s'est dérangé de son siége et laisse une large issue à la vapeur, ou si, par la rupture de la tige même; de la balance ou du levier, le clapet de la soupape a été projeté au loin.

Dans un niveau d'eau qui fonctionne bien, l'eau doit toujours osciller en marche; lorsque l'eau reste stationnaire ou n'oscille que faiblement, il y a lieu de penser que les tuyaux de communication avec la chaudière sont obstrués en partie; il faut fermer successivement le robinet du haut et du bas en ouvrant le robinet de vidange; on détermine ainsi un courant rapide d'eau qui suffit généralement pour rétablir le jeu de l'appareil; en ouvrant les deux robinets de communication à la fois et refermant brusquement le robinet de vidange, on voit la colonne d'eau reparaître dans le tube et osciller fortement; on reconnait ainsi que l'on peut compter sur les indications du niveau. Le mécanicien doit vérifier fréquemment l'état de son niveau et le purger pour le maintenir en bon état; cette vérification doit être faite surtout lorsque la machine est en stationnement, car en marche, le mécanicien juge à peu près, par l'échappement, de l'état du niveau de l'eau dans la chaudière. On ne doit jamais allumer une machine avant d'avoir vérifié l'état du niveau d'eau et celui du robinet d'épreuve. Lorsque le tube en verre casse pendant le service, il faut s'empresser de fermer les deux robinets de communication et remettre un nouveau tube dès que la machine a quelques instants de stationnement. Les mêmes vérifications doivent être faites de temps en temps pour les robinets d'épreuve.

Lorsque le sifflet d'une machine vient à se déranger en route et à être mis hors d'état de service, il faut ralentir et ne marcher qu'avec une extrême précaution jusqu'au dépôt le plus voisin où l'on doit changer la machine, à moins qu'on ne mette la machine-pilote en tête; si cet accident arrivait à un train extraordinaire dont l'heure de passage ne serait pas annoncée sur chaque point

de la ligne, il faudrait marcher assez lentement pour pouvoir arrêter avec certitude dans l'espace que la vue peut embrasser.

Lorsque les bouchons et robinets de vidange viennent à sauter, il faut éteindre et jeter le feu sans perdre un instant, car la chaudière se vide complétement en très-peu de temps.

Les pompes alimentaires donnent lieu à de fréquentes avaries ; le dérangement le plus fréquent provient de ce que le clapet ou le boulet d'une des soupapes d'aspiration ou de refoulement ne retombe pas sur son siége, soit parce qu'il s'est usé ou déformé par le service, soit le plus souvent parce que des matières grasses entrainées par l'eau ont formé dans la chapelle un enduit qui le maintient collé contre ses parois, soit parce qu'il s'est introduit dans le tuyau d'aspiration des corps étrangers, tels que du coke ou des lambeaux de garniture. Lorsqu'il s'introduit de l'air dans le corps de pompe par les joints du tuyau d'aspiration ou par la garniture du plongeur, cet air se dilate ou se comprime, sans que les clapets des soupapes puissent se lever; l'ouverture du robinet d'épreuve suffit généralement pour rétablir le jeu de la pompe, mais elle ne fonctionne que très-imparfaitement. Ces rentrées d'air ont lieu surtout lorsque le robinet du tender est fermé, et c'est pour les éviter qu'il convient d'alimenter d'une manière continue et de transporter le robinet d'admission du tender sur la machine, de manière à éviter les rentrées d'air par les rotules. Lorsque le robinet d'épreuve ne donne pas un jet d'eau lancé avec force à chaque coup de piston, ou lorsqu'il lance d'une manière continue un jet d'eau chaude provenant de la chaudière, on reconnait que la pompe ne fonctionne pas ; c'est ce qui a lieu presque toujours au moment où l'on ouvre le robinet d'aspiration ; en ouvrant et fermant à plusieurs reprises le robinet réchauffeur, on détermine des vibrations qui font généralement remettre en jeu les clapets collés sur leurs siéges ou dans les chapelles. Si une seule pompe donne, cela suffit ; mais le mécanicien doit toujours maintenir beaucoup d'eau dans sa chaudière pour ne pas être surpris par le dérangement toujours possible de la deuxième pompe. Si les deux pompes donnent mal et que l'on ne puisse pas maintenir le niveau dans la chaudière, il faut faire baisser la pression

et ralentir la marche ; il arrive souvent que les pompes reprennent et continuent à alimenter lorsque la vitesse diminue. Lorsque, nonobstant l'emploi des moyens que nous avons indiqués, les pompes ne fonctionnent pas, le mécanicien doit couvrir son feu de menu coke, ouvrir la porte du foyer et de la boîte à fumée, faire baisser la pression et arrêter avant que l'eau soit par trop abaissée ; il visite alors les clapets et enlève les corps étrangers qui les empêchent de fonctionner, après avoir fermé le robinet du tuyau de refoulement. Si les clapets des deux pompes sont brisés ou hors de service, ce qui arrive rarement pour les deux côtés à la fois, qu'en un mot il ne puisse pas rétablir l'alimentation et qu'il ne lui reste pas assez d'eau pour gagner une gare d'évitement, il jette son feu et attend la machine de secours.

Les tuyaux d'aspiration se brisent quelquefois ; lorsqu'il n'y a qu'une simple fissure, le mécanicien peut souvent, avec un peu d'adresse, boucher la fente en y appliquant une plaque de plomb, de la filasse ou une forte toile, en assujettissant le tout avec une forte ficelle ; si la rupture est complète, il ne doit pas perdre son temps à faire une réparation inutile ; il se sert de l'autre pompe, et si elle est déjà hors d'état, ou si elle vient à manquer, il jette son feu ou l'éteint s'il ne peut pas réussir à le jeter, après avoir gagné la voie d'évitement la plus proche, s'il lui reste assez d'eau dans la chaudière.

Les ruptures de tuyaux de refoulement sont plus graves que celles des tuyaux d'aspiration ; si une fissure se déclare entre la pompe et le robinet de sûreté, on ferme celui-ci, et au besoin on bouche la fissure si la deuxième pompe vient à manquer. Si la rupture est complète et qu'on ne puisse pas fermer le robinet, ou si elle a lieu entre ce robinet et la chaudière, il faut jeter le feu ou l'éteindre sans perdre un instant, car la chaudière se vide très-rapidement. Les tuyaux de refoulement crèvent parce que les mécaniciens ne visitent pas assez souvent l'orifice d'introduction dans la chaudière ; il s'y forme une bague d'incrustations qui réduit le passage de l'eau et occasionne des pressions considérables dans le

tuyau. Les mécaniciens doivent également manœuvrer très-fréquemment les robinets d'arrêt, car lorsqu'on néglige cette précaution, il devient souvent impossible de les fermer en cas d'accident, et alors il est rare que la chaudière ne reçoive pas un coup de feu.

On a vu quelquefois le tuyau intérieur de prise de vapeur s'écraser complétement sous la pression de la vapeur, lorsqu'il est en cuivre rouge; la machine se trouve mise à peu près hors de service; cependant en baissant le niveau de l'eau, en marchant lentement, et en tenant le levier de changement de marche près du sommet du secteur pour pouvoir le mettre facilement au point mort, on peut gagner tant bien que mal un dépôt et changer la machine.

S'il n'y a qu'une fissure ou un joint mal fermé, on baisse également le niveau de l'eau, surtout si le tuyau est près de sa surface; dans le cas où le régulateur est dans la boîte à fumée, il n'y a pas d'autre inconvénient que l'entraînement de l'eau dans les cylindres; mais s'il est dans l'intérieur de la chaudière, il faut continuer la marche en ne comptant plus que sur le levier de changement de marche pour l'arrêt; il faut maintenir une pression assez basse pour rester maître du mouvement des tiroirs, et s'y prendre de loin pour arrêter aux stations, car un excès de pression et de frottement des tiroirs ou un dérangement quelconque, pourrait empêcher de renverser la marche et même de mettre au point mort; il faut pouvoir arrêter avec les freins seuls. Les mesures que nous venons d'indiquer ne sont que des expédients pour achever un voyage ou un tour de service; jamais on ne doit mettre en service une machine qui présente des fuites de vapeur un peu importantes au tuyau intérieur de prise de vapeur.

Le régulateur éprouve lui-même des dérangements qui doivent donner lieu aux mêmes précautions que dans le cas précédent; il arrive quelquefois que les articulations qui transmettent le mouvement au tiroir qui forme le régulateur se démontent, ou que les tiges de communication se brisent ou se déplacent, alors le régulateur ne se ferme plus; dans quelques machines on a eu soin de placer ce tiroir verticalement et de le faire ouvrir en montant, afin qu'il

retombe et ferme de lui-même le tuyau de prise de vapeur; la machine se trouve alors réduite à l'impuissance, et on prévient le danger de la marche sans régulateur.

Des fuites se manifestent quelquefois dans les tuyaux de distribution à l'intérieur de la boîte à fumée; si elles sont assez abondantes pour épuiser la vapeur de la chaudière et gêner le tirage, de telle sorte qu'on ne puisse pas compenser leur effet en activant la combustion, il faut arrêter et tâcher de les fermer au moyen d'une garniture au minium, et, si on n'y parvient pas, attendre la machine de secours.

Le tuyau d'échappement peut éprouver quelques fuites qui gênent le tirage; on y remédie sans difficulté en activant un peu la combustion. Les valves de la tuyère peuvent prendre du jeu à la charnière et cesser de se fermer d'une quantité suffisante pour maintenir le tirage, mais cette avarie ne se produit généralement que peu à peu; si elle se manifestait en route, il faudrait employer tous les moyens pour activer le feu, jusqu'au moment où l'on pourrait changer la machine à un dépôt ou prendre du renfort.

2° Mécanisme.—Les pièces du mécanisme éprouvent des avaries assez fréquentes, mais le plus souvent sans danger pour la sécurité du convoi. Les pistons soumis à des mouvements alternatifs d'une très-grande rapidité sont exposés à des ruptures, soit de la tige, soit des plateaux; les bielles peuvent se rompre, et le piston abandonné à lui-même vient frapper les fonds du cylindre, il en résulte presque toujours la rupture du cylindre ou au moins de son plateau; on démonte la bielle motrice, les colliers et barres d'excentrique, ou seulement la tige du tiroir si l'emmanchement de celle-ci le permet, puis on fixe le tiroir au milieu de sa course; on marche ensuite avec un seul cylindre si la charge du convoi le permet; si la tige du piston s'est brisée et séparée de la coquille et que le piston ait été extrait du cylindre, on peut se contenter de démonter la distribution.

Les segments de piston se brisent quelquefois ou se dérangent par suite de la rupture des ressorts ou des vis de serrage intérieures,

la vapeur passe librement d'un côté à l'autre du piston et se perd par le tuyau d'échappement, il faut encore démonter la bielle et la distribution et mettre le tiroir au point mort.

Il peut devenir également nécessaire de démonter la bielle et la distribution si les glissières grippent assez fortement pour que leur conservation soit compromise. Dans ce cas, comme dans tous ceux où il faut interrompre le jeu du tiroir du piston sans que celui-ci soit mis hors de service, il faut, au lieu de mettre le tiroir au point mort, le pousser à bout de course vers l'avant, ainsi que le piston, qui se trouve ainsi constamment pressé par la vapeur sur la même face et qui ne peut pas se déranger; si l'on mettait simplement le tiroir au point mort, il pourrait se déranger ou bien il pourrait exister des fuites et la vapeur pourrait déplacer le piston et le lancer fortement contre le fond du cylindre opposé à celui sur lequel il est appliqué ; il serait nécessaire de le caler dans cette position en intercalant une chandelle en bois dans les glissières ; mais cela est complétement inutile lorsqu'on pousse au contraire le tiroir à bout de course.

Lorsque les glissières viennent à chauffer, il faut les graisser avec soin à tous les arrêts, et les asperger d'huile pendant la marche ; on arrive ainsi à les empêcher de gripper jusqu'au terme du voyage où l'on fait les réparations nécessaires.

Il se manifeste quelquefois des fuites abondantes autour des pistons pendant la marche ; on les reconnait au sifflement de la vapeur qui précède l'échappement, quand on démarre ou qu'on marche lentement. Les fuites de vapeur entre le tiroir et la table, lorsque le contact n'est pas parfait, produit un bruit analogue, mais plus continu et d'un son différent, que l'on distingue avec un peu d'habitude, surtout en appliquant l'oreille contre les parois de la boite à fumée ou sur la rampe. Lorsqu'il y a fuite abondante par le piston, il faut s'assurer si on n'entend pas un ferraillement intérieur dénotant la rupture de quelque pièce intérieure, et si le mode de construction du piston fait craindre quelque avarie plus grave, arrêter pour interrompre le jeu du piston et de la distribution ; si c'est une simple fuite et qu'elle soit un peu abondante,

on arrête au dépôt, puis on resserre les segments, opération très-facile et qui exige peu de temps lorsque la construction des pistons est convenable, et lorsque le plateau du cylindre est fixé par un joint sans garniture au minium. On reconnait facilement quel est celui des deux pistons qui perd, en mettant successivement chaque tiroir au point mort, en faisant marcher la machine à la pince, en ouvrant le régulateur après avoir calé les roues de la machine et serré le frein du tender; on s'assure si c'est un tiroir qui perd, et celui des deux tiroirs qui perd, en ouvrant les robinets purgeurs du cylindre, pendant que le tiroir placé au point mort est en charge. Pour les fuites du tiroir, il n'y a d'autre mesure à prendre que la réparation au dépôt.

Lorsqu'un piston est trop serré, ce que l'on reconnait à la difficulté avec laquelle la machine démarre et marche, et à un bruit sourd, enfin à une sorte de trépidation de la machine, il faut graisser fréquemment; si le serrage est assez fort pour qu'il y ait à craindre de rayer le cylindre, ce qu'un mécanicien ne peut apprécier qu'avec une longue expérience, il faut arrêter, desserrer le piston, et graisser souvent, en introduisant du suif fondu en abondance dans le cylindre.

Les bielles motrices donnent lieu à d'assez fréquentes avaries; quelquefois elles cassent, principalement dans les brides ou chapes; il faut alors démonter la bielle brisée, pousser à bout de course le piston et son tiroir, après avoir démonté les excentriques ou démonté la tige du tiroir. La même précaution doit être prise lorsque la clavette d'une tête de bielle s'échappe ou se rompt. Souvent les coussinets de tête de bielle se cassent lorsque le bronze est trop dur, ou lorsqu'ils ont du jeu autour du tourillon, ou enfin lorsqu'ils ne sont pas serrés l'un contre l'autre; mais, généralement, sa machine peut continuer la marche sans inconvénient.

L'accident le plus fréquent qui arrive aux bielles est de chauffer fortement; le tourillon s'échauffe et devient bleu d'acier, l'huile se volatilise et se décompose, de telle sorte qu'un mécanicien soigneux, même pendant la marche, s'en aperçoit toujours à temps; si la bielle chauffe trop fortement et qu'on ne puisse pas empêcher

qu'elle ne grippe en l'aspergeant d'huile pendant la marche, il faut arrêter ; on rafraîchit le tourillon et la tête de la bielle avec de l'eau froide ; on desserre la clavette et on donne un peu de jeu au coussinet ; cela suffit ordinairement si les surfaces de frottement n'ont pas grippé, parce qu'on a attendu trop longtemps pour y porter remède ; en graissant avec soin, et surtout avec du suif, on remet facilement la machine en bon état. Les observations qui précèdent s'appliquent aussi bien aux manivelles d'essieux coudés qu'aux tourillons de machines à cylindres extérieurs.

Les mêmes précautions sont à prendre pour les bielles d'accouplement, lorsque leurs coussinets chauffent ; lorsqu'elles se cassent ou que leurs chapes ou clavettes se brisent et qu'il devient nécessaire de les démonter ; il convient de démonter la bielle correspondante de l'autre côté de la machine, qui risquerait de se fausser ou de se briser si elle travaillait seule.

Les essieux moteurs de machines à cylindres intérieurs se cassent quelquefois dans le coude de la manivelle, la machine se trouve alors mise hors d'état de fonctionner ; mais l'accident n'a généralement pas de gravité, surtout si l'essieu est guidé par un double système de longerons. On doit arrêter en faisant serrer les freins et non en renversant la vapeur, ce qui pourrait forcer les plaques de garde et occasionner un accident qui n'aurait pas eu lieu sans cela, ou même suivant le point de rupture par rapport aux excentriques, produire un effet inverse de celui qu'on attend du renversement de la vapeur. Lorsque le train est arrêté, le mécanicien prépare la machine pour la faire remorquer par la machine de secours ; il place des cales sous les boîtes à graisse des roues d'avant et d'arrière, desserre les ressorts de l'essieu moteur, en soulève les fragments, place des cales sous les boîtes à graisse, et assujettit les bouts d'essieu avec des cordes ; il met ainsi la machine en état de rouler, sans que les roues motrices touchent les rails ; si le régulateur perd, il tient les robinets purgeurs ouverts pour éviter la mise en mouvement des pistons ; il doit enfin s'abstenir de jeter son feu tant que la machine n'est pas en état de se déplacer, pour éviter de mettre le feu à l'enveloppe de la chaudière ;

il couvre son feu avec du sable ou de la terre, ou l'éteint avec de l'eau, si le niveau est trop bas à l'intérieur, ou s'il y a des fuites.

Des dispositions semblables doivent être prises toutes les fois qu'une bielle s'est faussée ou brisée et qu'il est impossible de la démonter.

Les tourillons des manivelles, dans les machines à cylindres extérieurs, ou ceux des manivelles d'accouplement, peuvent se rompre ou plutôt se couper, lorsqu'un mécanicien peu attentif laisse chauffer outre-mesure une tête de bielle; il faut, dans ce cas, arrêter et démonter toutes les pièces dont le jeu se trouve paralysé par cet accident.

Les pièces de la distribution sont exposées, comme celles du mécanisme moteur, à des avaries assez fréquentes; les colliers d'excentriques trop serrés peuvent chauffer, on les desserre et on les graisse abondamment. Lorsqu'il y a rupture de pièces, colliers d'excentriques, tige ou cadre de tiroir, coulisse, bielle de suspension, etc., et que la distribution ne peut plus fonctionner, il faut arrêter, démonter les pièces brisées et celles qui sont solidaires avec elles, pousser le tiroir à bout de course, démonter la bielle motrice, pousser également le piston à bout de course et marcher avec un seul piston; on ne peut pas se dispenser de démonter la bielle en mettant le tiroir au point mort, parce que le mouvement du piston à sec serait nuisible à sa propre conservation et à celle du cylindre, et qu'il en résulterait des résistances qui pourraient empêcher la machine de marcher. Lorsqu'une poulie d'excentrique se décale, il faut recourir aux mêmes mesures, à moins qu'elle ne porte une vis servant à la fixer; on ramène la poulie à sa place et on serre la vis si elle est encore en état.

Le dérangement ou la rupture de l'arbre de changement de marche, de ses bielles, de ses leviers et contre-poids, empêche le mécanicien de diriger la machine; si c'est une bielle de suspension d'une coulisse ou le levier de commande qui se brise, on enlève la pièce brisée, et si la coulisse distribue pour la marche en avant dans sa partie supérieure, la coulisse, tombant par son propre

poids, la machine peut continuer sa marche; si la coulisse distribuait au contraire pour la marche en avant par la partie inférieure, on la débarrasse des pièces brisées et on la suspend à un support de la chaudière; il faut avoir soin, dans le premier cas, de démonter le contre-poids pour que la seconde coulisse puisse se maintenir facilement dans la même position que la première; il faut au contraire le conserver, dans le second cas. Si c'est l'arbre de distribution lui-même, la bielle de transmission ou le levier de changement de marche qui ont manqué, on dispose les deux coulisses comme on l'a indiqué ci-dessus. On procède d'une manière analogue pour les machines où les barres d'excentriques agissent directement sur les tiroirs sans l'intermédiaire d'une coulisse. Ces dispositions ne doivent être prises que pour atteindre le dépôt le plus voisin, le mécanicien doit alors marcher lentement pour y arriver, car il est toujours dangereux de marcher sans pouvoir renverser la vapeur, Il faudrait s'arrêter immédiatement et jeter le feu, si le régulateur n'était pas en bon état et donnait lieu à des fuites abondantes.

3° Chassis et supports. — Les accidents qui peuvent arriver aux pièces qui portent la machine sont ceux qui intéressent le plus directement la sécurité, car quelques-uns d'entre eux peuvent occasionner des déraillements.

Le châssis proprement dit n'est guère susceptible d'avaries en service; si quelque fissure vient à se déclarer, on peut généralement continuer la marche jusqu'au retour de la machine à l'atelier. Il en est de même pour les plaques de garde qui ne cassent pas subitement lorsqu'elles sont trop faibles, et qui cèdent à la longue à la fatigue du service.

Les ruptures de boîtes à graisse et de coussinets ne sont généralement pas graves; il suffit de graisser fréquemment et abondamment, pour empêcher les fusées de chauffer. Il arrive souvent que, sans que cette avarie ait lieu, les coussinets et les fusées chauffent, ou, comme on dit, que les boîtes à graisse chauffent; cela peut résulter des causes suivantes :

1° Le mauvais ajustement des coussinets sur les fusées; les sur-

faces frottantes étant dans ce cas très-réduites, l'huile ne peut plus rester entre les métaux pour les lubréfier ;

2° Un vice de construction dans les fusées ; le fer pailleux ou mal soudé use rapidement les coussinets et produit de la limaille, et la boîte chauffe promptement ; le bronze s'incorpore au fer, de telle sorte qu'il devient, indépendamment des précautions à prendre en route, nécessaire de lever fréquemment la machine, de limer la fusée ou de la tourner pour enlever les parties cuivreuses, matter les pailles, et, s'il y a des fissures un peu prononcées, en abattre les bords et former un méplat de manière à ce qu'elle ne touche pas le coussinet ;

3° Le défaut d'ajustement du coussinet, lorsqu'on lui donne exactement le même diamètre qu'à la fusée ; il faut qu'il ait environ 1/2 millimètre de plus que la fusée pour qu'il ne la pince pas dès qu'elle tiédit légèrement ;

4° L'usure des rainures ou pattes d'araignée, qui distribuent l'huile sur la fusée ;

5° L'introduction du sable ou de matières dures entre les fusées et le coussinet, ou même celle de l'eau qui tombe de la chaudière ou des pompes et qui chasse l'huile du réservoir ;

6° Un excès de charge provenant d'un vice de construction de la machine, ou plus souvent du mauvais règlement des ressorts ;

7° Un excès de vitesse, lorsque les fusées n'ont pas une surface de frottement suffisante pour y résister, ou que la matière du coussinet n'a pas une dureté suffisante.

Lorsqu'une fusée chauffe, le mécanicien en est averti par l'odeur de l'huile chaude, qui même prend feu quelquefois lorsqu'on n'y porte pas un remède assez prompt ; il importe donc toujours qu'un mécanicien soit très-attentif à l'odeur qui peut se dégager pendant la marche, qu'il en recherche la cause ; si elle est due à l'échauffement d'une boîte à graisse ou d'un tourillon de bielle, il voit bientôt l'huile bouillir dans le réservoir, les coussinets et les tourillons brunir ; il doit, sans attendre que ces signes se manifestent, ralentir d'abord, et, si l'échauffement augmente et arrive au point qui vient d'être indiqué, arrêter de suite. Lorsque la machine est arrêtée, le

mécanicien verse sur la partie échauffée une grande quantité d'eau propre, aussi froide que possible, jusqu'à ce que les pièces ne soient plus que tièdes ; il enlève avec un chiffon l'eau qui peut rester dans le réservoir à huile; il rajuste les mèches ou les remplace, et remplit le réservoir d'un mélange de suif, de graisse de wagon et d'huile; si l'échauffement continue, il le renouvelle en y ajoutant un peu de sel de soude. Lorsqu'une boite à graisse chauffe fortement, le mécanicien, après l'avoir refroidie, doit s'assurer si les lumières des coussinets ne sont pas bouchées et si l'huile qui y est introduite passe entre la fusée et le coussinet, auquel cas elle tombe par-dessous goutte à goutte ; il y introduit un fil de fer pour enlever la limaille et le cambouis qui les obstrue. Il faut, dans tous les cas, ne remettre la machine en marche que lentement, et ne lui rendre que graduellement sa vitesse. Si le mécanicien reconnaît, ou a lieu de supposer que l'échauffement est produit par un excès de charge, il desserre le ressort correspondant; mais ce palliatif ne doit être employé qu'avec beaucoup de mesure, parce que l'inconvénient pourrait ne faire que se déplacer.

Lorsqu'un ressort de suspension vient à se briser, on peut continuer à marcher s'il n'y a qu'une feuille cassée et que le ressort conserve encore sensiblement sa forme ; s'il y a plusieurs feuilles rompues, et que la machine s'incline sur ses supports, qu'en même temps la charge de la roue à laquelle correspond le ressort brisé devienne trop faible pour que la marche puisse être continuée avec sécurité, il faut soulever le bâtis avec un cric et placer des cales en bois entre la boîte à graisse et le sommet de l'ouverture de la plaque de garde ; on peut alors continuer la marche à une vitesse modérée, pour ne pas fatiguer l'essieu et la machine, jusqu'au dépôt le plus voisin où l'on change la machine.

Les bandages trop serrés ou mal soudés se brisent quelquefois, surtout au commencement de leur service ; les boudins peuvent se décoller, lorsque la fabrication est vicieuse ; si la rupture du bandage est instantanée et complète, ou qu'on ne l'aperçoive pas à temps, elle peut occasionner un déraillement avec toutes les conséquences qui en résultent, lorsque les rivets sont arrachés et la

roue complétement dépouillée de son bandage. Si les rivets ne sont pas arrachés et que le bandage soit encore épais et solidement fixé par les rivets, il faut continuer la marche à la vitesse de 4 à 5 k^m à l'heure au plus, après avoir fait protéger le train à l'arrière par les signaux habituels, et tâcher de gagner une voie où l'on gare les machines; si les bandages sont minces et les rivets peu solides, il faut redoubler de précaution et ralentir encore plus que dans le cas précédent. Lorsque le bandage est séparé en totalité sans que la machine soit sortie de la voie, on peut marcher avec cinq roues, si l'accident n'a pas eu lieu à une roue d'avant, en calant le châssis sur les boîtes à graisse, de façon à maintenir le niveau de la machine, et en en plaçant des cales sous la boîte à graisse de la roue qui a perdu son bandage, de manière à ne pas la faire porter sur le rail.

Lorsqu'une roue se décale, il faut arrêter le plus promptement possible, même lorsqu'elle n'a pas encore éprouvé un déplacement très-considérable, car on peut venir heurter un contre-rail de passage à niveau ou de pont et occasionner un déraillement. Le mécanicien essaie de remettre la roue à sa place en mettant un peu de sable fin sur la clavette pour la fixer momentanément par frottement; et, s'il y parvient, il marche avec beaucoup de précaution, en surveillant toujours la roue jusqu'au plus prochain dépôt. S'il y a impossibilité de remettre la roue en place, il faut attendre l'arrivée de la machine de secours, en soulevant l'essieu désemparé, si l'on peut y parvenir.

Les ruptures d'essieu sont les accidents les plus graves qu'une machine puisse éprouver; elles sont devenues, du reste, de plus en plus rares, au fur et à mesure que la fabrication des essieux bruts s'est améliorée et qu'on leur a donné des proportions plus convenables. Nous avons déjà dit ce qu'il y avait à faire en cas de rupture d'un essieu coudé dans la manivelle; les mêmes précautions seraient à prendre si la rupture avait lieu dans une autre de ses parties. Les ruptures d'essieux proprement dites ont lieu généralement près du moyeu, rarement dans une partie intermédiaire. Lorsqu'un essieu d'avant ou d'arrière casse, il faut arrêter le plus

promptement possible, en serrant énergiquement les freins et en renversant la vapeur. S'il n'y a pas eu déraillement, il y a diverses mesures à prendre pour sortir d'embarras. S'il s'agit seulement d'une roue moyennement chargée, par suite de la position du centre de gravité qui tombe à une assez grande distance au delà de l'essieu moteur, par exemple, d'une paire de roues placée en arrière du foyer, on peut se contenter d'enlever l'essieu brisé et ses roues, ou de le maintenir soulevé au-dessus des rails en desserrant les ressorts, en le calant et l'attachant convenablement. Il faut avoir soin préalablement de caler les plaques de garde des autres boîtes à graisse ; s'il s'agit, au contraire, d'un essieu fortement chargé et dont on ne peut pas se passer pour supporter la machine, il faut, après l'avoir enlevé, le remplacer par un essieu de wagon, sur lequel on place des tasseaux en bois qui forment coussinets. Il faut, en outre, jeter et éteindre le feu, vider l'eau et démonter les bielles, pour alléger la machine et faciliter sa marche, lorsque la machine de secours viendra la remorquer ; ce mouvement ne doit être effectué que très-lentement, et il convient de graisser les boudins des roues pour passer dans les courbes, lorsque le système des supports surchargés ou improvisés laisse quelques doutes sur la stabilité.

4° Tender. — Les avaries que peut éprouver le tender sont peu nombreuses ; lorsque les boites chauffent, on a recours aux mêmes mesures que pour la machine ; seulement l'opération est plus facile, parce que les boîtes à graisse sont extérieures ; on peut, lorsqu'après le refroidissement de la boite et de la fusée l'huile ne coule pas par la lumière du coussinet, soulever la boite avec un cric et rétablir plus facilement le passage de l'huile. En cas de rupture d'un essieu de tender, il faut également arrêter le plus promptement possible, mais surtout en faisant agir les freins du convoi et en évitant de renverser la vapeur, pour que le tender, pressé entre le convoi et la machine, ne soit pas sollicité à dérailler et à se mettre en travers de la voie. Après avoir arrêté, on sépare le tender de la machine et on enlève l'essieu brisé pour le remplacer par un essieu de wagon ; lorsqu'on a sous la main de petits wagons bas,

servant à l'entretien de la voie, on peut placer un de ces wagons sous l'arrière ou sous l'avant, suivant la position de l'essieu rompu, et conduire ainsi le tender désemparé jusqu'à la voie d'évitement la plus voisine. Lorsque le tender est à six roues, on enlève l'essieu brisé, et, si ce n'est pas celui du milieu, on le prend pour remplacer celui qui est mis hors de service; on continue alors la marche avec précaution.

Lorsque l'attelage de la machine au tender, ou du tender au train. ou même de deux wagons, vient à se briser complétement, barre d'attelage et chaînes de sûreté, la machine se lance et le convoi se trouve séparé en deux parties; le mécanicien doit bien se garder d'arrêter brusquement ce qui occasionnerait un choc dangereux; il doit donner immédiatement plus de vapeur, afin de gagner environ 200 mètres d'avance sur la dernière partie du train. Il doit, si la machine seule et son tender sont détachés, siffler pour faire serrer les freins de la portion du train restée en arrière; si le train est séparé en deux parties, il doit donner un coup de sifflet prolongé pour attirer l'attention du garde-frein, et ne doit ralentir que lorsque les wagons ralentissent eux-mêmes leur marche; lorsqu'ils sont complétement arrêtés, il arrête également et va les rejoindre pour se remettre en marche après avoir remplacé la barre d'attelage rompue; si c'est la barre d'attelage de la machine qui est rompue ou un crochet de traction, on assemble comme on peut, avec des chaînes ou des cordes, les deux parties du train et on marche lentement, jusqu'au point où il est possible de remplacer la machine ou de dégager le wagon désemparé.

Lorsque la barre d'attelage de la machine se rompt seule et que les chaînes de sûreté résistent, lorsqu'en même temps elles sont assez courtes pour que la communication des tuyaux de pompe avec le tender ne soit pas interrompue, le mécanicien peut continuer à marcher, mais avec précaution et à petite vitesse; dans ce cas, il doit toujours se tenir d'une main à la rampe de la machine, pour éviter de tomber à la renverse si les chaînes de sûreté venaient à se casser. La possibilité d'une rupture complète de l'attelage de la machine au tender nécessite la présence permanente du mécani-

cien sur la plate-forme de la machine; car, si celle-ci venait à se séparer pendant qu'il est sur le tender, elle prendrait une vitesse aveugle, sans guide, et pourrait occasionner les plus graves accidents; le chauffeur doit, autant que possible, se tenir sur le tender; dans aucun cas on ne doit se placer sur la plaque de jonction qui couvre la séparation existant entre la machine et le tender.

5° Déraillements. — Le déraillement d'une machine peut être occasionné par la rupture d'un bandage, d'un essieu ou même d'un ressort, par une répartition vicieuse de la charge coïncidant avec un mouvement de lacet très-prononcé, par le mauvais état de la voie, par la rencontre d'un obstacle, etc

En règle générale, lorsqu'un déraillement a lieu, le mécanicien et le chauffeur ne doivent jamais chercher à sauter sur la voie pour se mettre à l'abri des conséquences de l'accident; l'expérience, indépendamment de tout raisonnement, a suffisamment démontré qu'ils couraient toujours plus de danger à sauter qu'à rester à leur poste; c'est du reste pour eux un devoir impérieux de tenter, jusqu'au dernier moment, tous les efforts possibles pour amortir la vitesse du convoi, en serrant le frein du tender, renversant la vapeur, s'il y a lieu, et surtout en faisant serrer très-vivement et très-énergiquement les freins des wagons. Ils doivent seulement se tenir, l'un sur la plate-forme de la machine, l'autre sur le tender, de manière à ne pas se faire prendre les jambes entre la machine et le tender, celui-ci montant souvent sur la plate-forme de la machine.

Le mécanicien, et le chauffeur sous sa direction, en réunissant les secours de main-d'œuvre qu'ils peuvent trouver dans le train ou parmi les agents et ouvriers employés aux travaux de la voie, doivent immédiatement prendre toutes les mesures nécessaires pour préparer le déblaiement de la voie. Si la machine circule isolément, ils doivent, avant tout, s'assurer si la voie ou les deux voies obstruées sont interceptées par des signaux ; s'ils sont avec un train, ce soin appartient au chef du train, et à son défaut aux conducteurs, ils doivent cependant s'informer de ce qui a été fait. Ils examinent enfin l'état du foyer, s'empressent de jeter le feu, si

cela est possible, ou de l'éteindre avec précaution en y jetant de l'eau ; si la machine a conservé sensiblement son niveau, que le ciel du foyer soit encore couvert d'une quantité d'eau assez considérable, que la machine ne présente pas de fuite et qu'il soit possible de la relever dans un temps assez court pour que la vaporisation ou les fuites ne fassent pas découvrir le ciel du foyer, ils capuchonnent la machine avec soin et couvrent le feu avec du sable ou de la terre.

Le mécanicien doit seul diriger les manœuvres en attendant du secours, il remet ensuite le commandement au chef de dépôt qui vient au secours, ou à tout autre employé supérieur de la traction qui survient ; il veille avec soin à ce que personne ne se mêle de commander ou de donner des avis, car rien n'est plus gênant et n'entraîne une plus grande perte de temps qu'un défaut d'ensemble dans l'exécution des manœuvres nécessaires pour relever une machine. Il examine ensuite la situation de la machine et du tender, et tâche de se rendre un compte exact des manœuvres qui conviendront le mieux pour remettre les choses en état ; il y a toujours, en fin de compte, une économie de temps considérable à ne pas commencer précipitamment l'opération du relevage. Le mécanicien fait réunir les engins et matériaux qui peuvent être nécessaires, et lorsqu'il a combiné ses manœuvres et réuni ses moyens d'action, il procède au travail avec ordre et sans précipitation.

Les manœuvres à faire pour relever une machine dépendent beaucoup des circonstances de l'accident ; cependant il y a quelques règles générales qu'on ne doit jamais perdre de vue. On doit commencer par séparer le tender de la machine, à moins que le premier ne soit resté sur la voie et que la machine n'ait qu'une ou deux paires de roues dans le sable et à une petite distance des rails ; lorsqu'il est impossible d'enlever le boulon d'attelage ou de faire reculer le tender, on coupe la barre d'attelage au burin. On cale en dessous, avec des coins en bois que l'on façonne à la hache ou que l'on prend dans les coussinets de la voie obstruée, les boîtes à graisse des trois essieux, pour que les roues suivent le mouvement de la machine lorsqu'on la soulève en agissant sur le châssis ; on

cale en outre en dessus les boîtes à graisse des essieux extrêmes, pour que la flexion des ressorts ne fasse pas baisser la machine à une extrémité lorsqu'on la soulève à l'autre, et pour ne pas écraser les ressorts.

Lorsqu'il n'y a qu'un essieu, celui d'avant ou quelquefois celui d'arrière sorti de la voie, on place un ou deux verrins sous la traverse d'avant ou d'arrière, on soulève la machine jusqu'à ce que les boudins soient un peu au-dessus des rails et on la fait riper au moyen de la vis de rappel du verrin. Lorsqu'on n'a que des crics à sa disposition, on soulève la machine avec un ou deux crics en les inclinant légèrement du côté où la machine doit se déplacer transversalement, et on la pousse latéralement avec un autre cric. Avant d'entreprendre une manœuvre de cette nature, on doit caler avec soin les boîtes à graisse et les roues sur les rails pour qu'elles ne puissent pas se déplacer en avant ou en arrière; on asseoit les crics et les verrins sur des plats-bords, en creusant le sable pour qu'ils trouvent une base solide, ou en les appuyant sur les traverses de la voie, si cela est possible. Au fur et à mesure que les roues sorties de la voie s'élèvent sous l'action des verrins ou des crics, on passe dessous des semelles en bois pour ne pas perdre le terrain gagné, si les engins venaient à manquer ou lorsqu'ils sont à bout de course et qu'il faut les reprendre.

Si la machine s'est écartée à une assez grande distance de la voie, il faut placer le long des roues, des rails à plat sur lesquels on place la machine, et que l'on raccorde ensuite avec l'une des deux voies principales, par un bout ou par l'autre; on doit éviter de faire faire un trajet considérable à la machine en la faisant riper successivement; c'est toujours long et plus nuisible à la conservation de la machine.

Lorsque les trois paires de roues sont tombées hors des rails, pour replacer la machine sur la voie qu'elle vient de quitter, ou sur la voie provisoire qu'on établit pour la ramener sur sa direction, on doit en général s'appliquer à placer chaque paire de roues sur un rail transversal, placé à plat sur les rails de la voie ou sur des tasseaux fortement assis; cette opération est toujours facile, car il

suffit de soulever la machine d'une quantité suffisante pour introduire le rail sous les boudins des roues; ces trois rails doivent être placés bien parallèlement entre eux, et, autant que possible, perpendiculairement à la voie, soutenus, au besoin, par d'autres rails juxtaposés. Lorsque la machine repose ainsi sur ces rails, on graisse ceux-ci et on ripe la machine au moyen de verrins, de crics et de pinces, jusqu'à ce qu'elle soit à l'aplomb des rails sur lesquels on la laisse redescendre, en la soulevant d'abord un peu et successivement à chaque extrémité, pour dégager les supports mis en travers.

Lorsque la machine penche fortement d'un côté, on la redresse d'abord avant de commencer les manœuvres qui viennent d'être indiquées. Mais, lorsque la machine se renverse sur le côté, il est inutile de chercher à la redresser au moyen des verrins et des crics; il faut de suite équiper deux fortes chèvres à trois pieds, munies de treuils assez forts pour soulever la machine et la replacer sur ses roues; on procède ensuite comme il a été dit ci-dessus.

Lorsqu'une machine, un tender ou un wagon sont sortis de la voie, avant de les remettre en marche il faut procéder à un examen attentif et minutieux de toutes leurs parties, afin de s'assurer que rien n'a été dérangé ni forcé; on nettoie ensuite toutes les parties qui ont été couvertes de sable, et on ne marche que très-lentement en observant avec soin le jeu de toutes les pièces, spécialement le mouvement des roues.

Il est nécessaire aussi, toutes les fois qu'il y a eu déraillement, que la voie soit bien examinée, car il arrive fréquemment que des rails ou des coussinets soient cassés ou déplacés; de plus, on enlève les coins qui ont servi de cales et qui doivent être remplacés.

On doit toujours s'attacher, lorsque, par suite d'un déraillement, les deux voies ont été encombrées, à rétablir le plus promptement possible la circulation sur l'une de ces deux voies, et en écarter tout ce qui pourrait faire obstacle au passage des trains; on doit commencer par relever les wagons lorsqu'ils encombrent la voie qui doit être dégagée la première; le faible poids de ces véhicules rend la manœuvre facile, lors même qu'ils sont complétement dés-

emparés et qu'il faut les charger sur des wagons plats, soit en bloc, soit en séparant la caisse du train.

S'il n'y a que des wagons sortis de la voie, ou s'il faut déplacer des wagons qui interceptent la circulation avant l'arrivée du secours, c'est le mécanicien qui doit diriger la manœuvre, après avoir pris toutes les dispositions pour assurer la conservation de la machine.

§ 2. — Mesures législatives et réglementaires.

Mesures législatives et réglementaires. — L'exploitation des chemins de fer est régie par une loi spéciale et par un règlement d'administration publique également spécial, par un règlement d'administration publique concernant les machines à vapeur en général, et par divers arrêtés ou décisions. Nous mentionnerons seulement, en indiquant sommairement leur objet, les dates de ces documents qui doivent être entre les mains de toutes les personnes qui ont à diriger des ateliers de construction et de réparation ou un service de traction.

1° *Loi sur la police des chemins de fer.*— 15 *juillet* 1845 ; elle a pour objet principal d'assurer l'exécution des mesures réglementaires concernant la conservation des chemins de fer et la sécurité de la circulation ; elle fixe les pénalités et le mode de constatation et de répression des crimes, délits et contraventions.

2° *Ordonnance portant règlement d'administration publique, sur la police, la sûreté et l'exploitation des chemins de fer.* — 15 *novembre* 1846 ; elle règle les formalités à suivre pour la mise en circulation des machines locomotives, les conditions de sécurité qui doivent être observées dans la construction et l'entretien du matériel de traction, les mesures d'ordre ayant pour objet la tenue des états de service des machines et tenders et de leurs essieux ; elle règle en outre les mesures relatives à la composition, au départ, à la circulation et à l'arrivée des convois, et en particulier les mesures de précaution à observer par les mécaniciens. Ce règlement doit être refondu incessamment et réduit à des termes plus généraux ; en laissant plus de latitude aux agents du service de l'exploitation, il augmentera leur responsabilité et l'obligation,

qui résulte de la nature même de leur profession, d'exécuter strictement toutes les mesures de précaution et les règles de service établies par chaque Compagnie.

3° *Ordonnance relative aux machines et chaudières à vapeur.* — 22 *mai* 1843 ; elle comprend une section relative aux machines locomotives, fixe les formalités à accomplir pour l'épreuve, et l'autorisation de mise en service des machines ; elle règle les épaisseurs à donner au métal des chaudières cylindriques, en raison du diamètre et de la pression, le diamètre à donner aux soupapes de sûreté, en raison de la surface de chauffe, etc.

Une décision récente de M. le Ministre des travaux publics, prise sur l'avis de la commission des machines à vapeur, a autorisé les ingénieurs chargés de la réception des chaudières, à timbrer les chaudières de machines locomotives, en admettant une tolérance d'un tiers sur l'épaisseur réglementaire de la tôle ; on peut ainsi timbrer à 7 atmosphères des chaudières dont les épaisseurs de tôle correspondent au timbre de 5 atmosphères. Cette tolérance ne peut être admise que pour les chaudières en bon état, dont les armatures, tirants et entretoises sont solidement disposés, et sous la condition que les balances seront combinées de telle sorte, que la levée de la soupape soit au moins de 0^{m}002 pour chaque atmosphère de tension au-dessus de 7 atmosphères, et que la soupape, avant que son levier vienne buter contre l'arrêt de la balance, s'ouvre au moins de 0^{m}004 en totalité.

Pour les chaudières de machines locomotives, l'épreuve à la presse hydraulique doit être faite à une pression double de la *pression effective* de la vapeur, c'est-à-dire à une pression double de la pression absolue ou de la tension de la vapeur diminuée d'une atmosphère.

La charge d'épreuve doit être placée sur l'une des soupapes de la chaudière et non sur la soupape de la presse hydraulique, et l'épreuve elle-même doit être conduite de telle sorte que l'eau jaillisse pendant quelques instants consécutifs, en formant une nappe continue tout autour de la soupape.

On doit tenir compte, dans le calcul, de la charge d'épreuve du poids de la soupape, de celui du levier et de la largeur de l'anneau de recouvrement, que l'on compte pour moitié dans la surface effective de la soupape; voici, du reste, un exemple qui indique comment doit se faire le calcul :

Marche n° 4, Hawthorn, du chemin de fer de Paris à Orléans.

Timbre de la chaudière......................	5 atmosphères,
Diamètre de l'orifice de la soupape............	6 centimètres.
Largeur de l'anneau de recouvrement.........	0m003 —

Surface de l'orifice de la soupape.................	35cq	239
Demi-surface de l'anneau de recouvrement.........	3	297
Surface totale.............	38cq	536

Charge directe sur la soupape, déduction faite de la pression atmosphérique sur la totalité de l'anneau de recouvrement :

1kg.033 (8 × 38,535 — 3,297) =........	315kg.	05
Poids de la soupape à déduire............	0	50
Poids à placer sur la soupape............	314	55
Rapport des bras de levier :: 1 : 10.		
Charge à l'extrémité du levier....................	31kg.	45
Poids du levier rapporté à son extrémité à déduire..	1	10
Charge d'épreuve...........................	30	35

L'usage des machines à quatre roues avait été interdit par décision administrative, à la suite de l'accident du 8 mai 1842; les machines construites sur ce type ne sont plus en service, mais il y a lieu de croire que, si on revenait à ce système, les améliorations qu'a reçues depuis cette époque la construction des machines, au point de vue de la stabilité et de la solidité des essieux, permettront de revenir sans difficulté sur cette mesure de police.

TABLE DES MATIÈRES.

LIVRE II.

DESCRIPTION DE LA MACHINE LOCOMOTIVE.

CHAPITRE Ier.

APERÇU GÉNÉRAL SUR LES DIVERS SYSTÈMES DE MACHINES LOCOMOTIVES.

CHAPITRE II.

CHAPITRE IV.

CHASSIS ET SUPPORTS.

§ 1er. — *Châssis.*

§ 2. — *Suspension.*

§ 3. — *Roues et essieux.*

LIVRE III.

DESCRIPTION DU TENDER.

§ 1er — *Caisse à eau.*

§ 2. — *Châssis.*

§ 3. — *Suspension.*

§ 6. — *Dispositions spéciales.*

Pages.

LIVRE IV.

EXAMEN DE LA MACHINE LOCOMOTIVE PRISE DANS SON ENSEMBLE.

CHAPITRE Ier.

CONDITIONS GÉNÉRALES DE CONSTRUCTION.

CHAPITRE II.

STABILITÉ.

Pages.

CHAPITRE II.

LIVRE VI.

LIVRE VII.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCE.

LIVRE VIII.

ACCIDENTS.

TABLE ALPHABÉTIQUE.

A.

B.

C.

D.

E.

L.

M.

N.

O.

P.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

